

DECKBLATT

EU 114	Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
	N A A N	N N N N N N N N N N	N N N N N N	X A A X X	A A	N N N N	N N
	9K	3166.35	---	HG	RB	0028	00

Titel der Unterlage: Analysen quartären Grundwassers:
 Auswertung und Interpretation der Meß- und Analyseergebnisse quartären Grundwassers

Seite:
 I.
 Stand:
 14.03.86

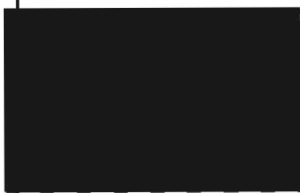
Ersteller:
 GSF


Textnummer:

Stempelfeld:

PSP-Element TP...9K/2122353

zu Plan-Kapitel: 3.1.9.6.3

PL

 Freigabe für Behörden.

PL

 Freigabe im Projekt

Diese Unterlage unterliegt samt Inhalt dem Schutz des Urheberrechts sowie der Pflicht zur vertraulichen Behandlung auch bei Beförderung und Vernichtung und darf vom Empfänger nur auftragsbezogen genutzt, vervielfältigt und Dritten zugänglich gemacht werden. Eine andere Verwendung und Weitergabe bedarf der ausdrücklichen Zustimmung der PTB.

Revisionsblatt



	Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev
	N A A N	N N N N N N N N N N	N N N N N N	X A A X X	A A	N N N N N N	N N
EU 114	9K	3166.35	---	HG	RB	0028	00

Titel der Unterlage: Analysen quartären Grundwassers: Auswertung und Interpretation der Meß- und Analysenergebnisse quartären Grundwassers	Seite: II.
	Stand: 14.03.86

Rev.	Revisionsst. Datum	verant. Stelle	Gegenzeichn. Name	rev. Seite	Kat. *)	Erläuterung der Revision

*) Kategorie R = redaktionelle Korrektur
 Kategorie V = verdeutlichende Verbesserung
 Kategorie S = substantielle Änderung.
 Mindestens bei der Kategorie S müssen Erläuterungen angegeben werden.

Erläuternde Unterlagen zum Plan Endlager

Schachtanlage Konrad

Leistungsverzeichnis-Nummer 2219.06


Analysen quartären Grundwassers

Arbeitspaket Nummer 6

Auswertung und Interpretation der Meß-und Analysenergebnisse
quartären Grundwassers

Gesellschaft für Strahlen und Umweltforschung mbH München

Institut für Tieflagerung



Institut für Radiohydrometrie



LV-Nr. 2219.06

Analysen quartären Grundwassers

AP-Nr. 6

Auswertung und Interpretation der Meß- und Analysenergebnisse
quartären Grundwassers

Braunschweig, den 14. März 1986 Fb/R

Dieser Bericht wurde im Auftrag der Physikalisch-Technischen
Bundesanstalt (PTB) erstellt. Die PTB behält sich alle Rechte
vor. Insbesondere darf dieser Bericht nur mit Zustimmung der PTB
zitiert, ganz oder teilweise vervielfältigt bzw. Dritten zu-
gänglich gemacht werden.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

Tabellenverzeichnis

Anlagenverzeichnis

Kurzfassung

1	Einleitung	1
2	Probenentnahme und -behandlung	2
3	Hydrochemische Untersuchungen	6
3.1	Umfang und Methodik der hydrochemischen Analysen	6
3.2	Qualitätskontrolle der analytischen Verfahren	7
3.2.1	Vergleich der Analysen	8
3.2.2	Aussagemöglichkeiten der Vergleichs- analysen	10
3.3	Hydrochemische Eigenschaften der quartären Grundwässer	12
4	Altersklassifizierung der oberflächennahen Grundwässer	19
4.1	Methodik der Klassifizierung von Grund- wasser nach Alter und Herkunft durch Umwelt- isotopenmessung	19
4.1.1	Tritium	19
4.1.2	Kohlenstoff-14 und Kohlenstoff-13	20
4.1.3	Deuterium und Sauerstoff-18	20
4.2	Ergebnisse und Interpretationen der Umwelt- isotopenmessungen	22
4.2.1	Tritium	22
4.2.2	Kohlenstoff-14	24
4.2.3	Deuterium und Sauerstoff-18	25

5	Konzentrationen natürlicher Radionuklide	26
5.1.	Messung der Aktivitätskonzentration	26
5.1.1	Nachweisgrenzen	26
5.1.2	Meßverfahren	27
5.2	Meßergebnisse	29
6	Zusammenfassende Interpretation der hydro- chemischen Eigenschaften quartärer Grundwässer	30
7	Literaturverzeichnis	35

Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1: $\delta^2\text{H}/\delta^{18}\text{O}$ -Relation und "Niederschlagsgerade"
- Abb. 2: Vergleichende Darstellung der Ionenkonzentrationen im PIPER-Diagramm
- Abb. 3: Abhängigkeit der Sulfat-Konzentration von der Mineralisierung
- Abb. 4: Abhängigkeit der Borat-Konzentration von der Mineralisierung

Tabellenverzeichnis

- Tabelle 1: Lage und Ausbau der Grundwasser-Meßstellen
- Tabelle 2: Grundwasserchemische Typisierung oberflächennaher Grundwässer
- Tabelle 3: Anzahl, Spannweite und Streuung der Meßwerte
- Tabelle 4: Meßergebnisse von Isotopenanalysen an oberflächennahen Grundwässern in der Umgebung der Schachtanlage Konrad

Anlagenverzeichnis

- Anl. 1: Lage der untersuchten Grundwassermeßstellen
(I. und II. BA)
- Anl. 2: Hydrochemische Grundwassertypen
- Anl. 3: Radionuklidbestimmung an Wasserproben. Lage der
beprobten Grundwassermeßstellen

Kurzfassung



Der quartäre Grundwasserleiter in der Umgebung der Schachtanlage Konrad ist auf Nord/Süd-gerichtete glazifluviatile Rinnen begrenzt, die zu einem Rinnensystem vernetzt sind und meist durch geologisch-morphologische Aufragungen von Plänerkalk-Rücken begrenzt werden. Die Lockergesteinsfüllungen des Rinnensystems sind überwiegend saalekaltzeitlicher Entstehung und werden von weichselzeitlichen Lößbildungen abgeschlossen. Die Mächtigkeit des sehr inhomogen aufgebauten Grundwasserleiters schwankt sehr stark zwischen 0 m und 61 m.

Die chemische Zusammensetzung der oberflächennahen Grundwässer wird durch die Konzentration von Schwerindustrie in der Region geprägt. Die intensive, aber stark schwankende Grundwasser-Entnahme durch das Wasserwerk Bleckenstedt im Zentralbereich des Untersuchungsgebietes beeinflusst die Grundwasser-Fließrichtung und -verweildauer nachhaltig. Dies wurde durch Einbohrloch-Tracerversuche und radiometrische Altersbestimmungen untersucht.

Während in den morphologischen Hochlagen der Plänerkalk-Rücken (und z. T. auch der Querrinnen) relativ natürliche Grundwässer vom Ca-Cl-HCO₃-Typ vorkommen, ist der zentrale Rinnenbereich, vor allem im Einflußbereich des Hüttenwerkes der Stahlwerke Peine-Salzgitter durch stark anthropogen kontaminierte, höher mineralisierte Grundwässer vom Ca-Na-SO₄-Typ geprägt. Die Kontamination, vor allem durch die Verkippung flüssiger Hochofenschlacke wirkt sich besonders auf die Gehalte an Ca, SO₄, BO₃, I und insgesamt auf die Mineralisierung der Grundwässer aus.

Bemerkenswert ist auch eine lokale Erhöhung der Grundwassertemperatur auf ca. 40° C. Wegen konkurrierender Einflüsse auf die Grundwasserzusammensetzung ist eine genetische Aussage anderer Haupt- und Spurenelemente mehrdeutig.

Im Chemismus des oberflächennahen Grundwassers in der Umgebung der Schachanlage Konrad spiegelt sich der Charakter einer Industrielandschaft wieder. Eine Rekonstruktion des natürlichen Grundwasserchemismus ist deshalb nur mit Vorbehalten möglich.

1 Einleitung

Im Rahmen der LV-Nr. 2219.06, Analysen quartären Grundwassers waren hydrochemische Analysen, Radionuklidbestimmungen und Altersdatierungen des oberflächennahen Grundwassers, das den relativ geringmächtigen quartären Grundwasserleiter einnimmt, Gegenstand von 4 Teilaufgaben mit dem Thema

- Temperatur- und elektr. Leitfähigkeitsmessungen im oberflächennahen Grundwasser in halbjährlichen Abständen (AP 2)
- Hydrochemische Untersuchungen und Altersbestimmungen des oberflächennahen Grundwassers (AP 4 I. und II.BA)
- Radionuklidbestimmung an Wasserproben (Beweissicherung) (AP 5).

Gegenstand des vorliegenden Berichts ist die zusammenfassende Dokumentation und Interpretation der Einzelergebnisse der o.g. Teilaufgaben, die im Detail bereits in den Zwischen- und Abschlußberichten der Teilaufgaben dokumentiert waren /1, 2, 7, 8, 17/.

2 Probenentnahme und -behandlung

Für die Untersuchungen standen 14 Grundwasser-Meßstellen des I. Bauabschnitts (LV-Nr. 2219.02 AP 1), 4 Grundwassermeßstellen des II. Bauabschnitts (2219.02 AP 2) und 11 im Rahmen von LV-Nr. 2219.02 AP 3 sanierte Grundwassermeßstellen zur Verfügung, deren Lage und Ausbau in Tab. 1 und Anl. 1 dokumentiert sind. Diese Beprobung erfolgte für die

- Meßstellen des I. Bauabschnitts im November/Dezember 1984, für die
- Meßstellen des II. Bauabschnitts im Mai 1985.

Eine zweite Meßkampagne folgte jeweils in halbjährlichem Abstand

- im April/Mai 1985 (I.BA)
und
- im November/Dezember 1985 (II.BA),

so daß Untersuchungen sowohl zu Zeiten des Grundwasserhochstandes als auch des Grundwasserniedrigstandes erfolgen konnten. Anlässlich einer der beiden Meßkampagnen wurden von allen Brunnen mit einem einfachen wire-logging-Verfahren Temperatur-/Leitfähigkeits-Logs aufgenommen, deren Ergebnisse in /1/ wiedergegeben sind.

Nach dem Ausbau der Grundwasser-Meßstellen mußten diese, bevor eine Probennahme erfolgen konnte, zunächst hydraulisch entwickelt werden. Durch kräftiges, stufenweises Abpumpen wurden dabei Spülungsreste und frei bewegliche Feinkornanteile entfernt und das System Filter/Filterkies-Schüttung/Grundwasserleiter hydraulisch konsolidiert. Dieses Brunnenentwickeln wurde sowohl für eine hydraulische Charakterisierung der Grundwasserleiter (Kurz-pumpversuche) als auch zu einer zeitabhängigen chemischen und

isotopenradiologischen Beprobung genutzt. Deshalb liegen, in Ergänzung zum festgelegten Leistungsumfang, chemische und radio-metrische Daten einer weiteren, den eigentlichen Meßkampagnen vorausgegangenen Beprobung vor.

Vor der Probenentnahme erfolgte in der ungestörten Standwasser-säule eine kontinuierliche Aufnahme von Temperatur- und Leit-fähigkeitsprofilen in Tiefenstufen von jeweils 1 m Abstand /1/.

Zur Probenentnahme (mit Ausnahme während der Kurzpumpversuche) diente eine druckluftangetriebene Tauchkolbenpumpe, die un-mittelbar in die Filterstrecken der Grundwassermeßstellen einge-hängt wurde. Das Abpumpen des Standwassers aus dem Aufsatzrohr konnte deshalb unterbleiben, da die Filterstrecken ständig vom Grundwasser in dessen natürlichem Zustand durchströmt wurden.

Aus dem Pumpenstrom wurde jeweils ein Teilstrom zur kontinuier-lichen in situ-Messung der leicht veränderlichen Grundwasser-Eigenschaften durch ein Durchfluß-Kombinationsmeßgefäß geleitet, in dem die elektrische Leitfähigkeit, der pH-Wert, das Redox-potential, der O_2 -Gehalt und die Wassertemperatur mit speziellen Meßelektroden elektrisch bzw. ionensensitiv-potentiometrisch kontinuierlich gemessen werden konnten. Nach Erreichen konstanter Meßwerte im Durchfluß wurden diese als in situ-Meßparameter fest-gehalten und die Wasserproben-Entnahme eingeleitet.

Aus dem frei ausfließenden Pumpenstrom wurden, entsprechend den Erfordernissen der vorzunehmenden Einzelbestimmungen mehrere spezielle Probengefäße abgefüllt:

- 1 Glaskolben (100 ml) mit Schraubverschluß zur Bestimmung der Dichte
- 1 Glaskolben (250 ml) mit Schraubverschluß zur Bestimmung der Haupt- und Spurenelemente (Anionen und Kationen)
- 1 Glasflasche (50 ml) zur Bestimmung von H-2, O-16/O-18
- 2 Glasflaschen (500 ml) zur Bestimmung von H-3
- 1 Glasflasche (500 ml) zur Bestimmung von C-13

- 2 Glasflaschen zur Bestimmung von H-3 zur Beweissicherung
- 1 PE-Flasche (100 ml) zur Bestimmung des Abdampfrückstandes
- 1 PE-Flasche (500 ml), im Labor mit Chloroform konserviert, zur Bestimmung von NO_2 , NO_3 , NH_4
- 3 PVC-Ballons (10 l) zur Bestimmung von Sr-90, Cs-137, Pb-210, Pu-239/240, Th/U u. Folgeprodukten und der β -Gesamtaktivität
- 3 PE-Ballons (60 l) zur Bestimmung von C-12/C-14; der anorganische Kohlenstoff wurde im Labor mit NaOH und BaCl_2 ausgefällt, dekantiert und in je 1 PE-Flasche (5 l) überführt.
- 1 Glasflasche (250 ml) zur Bestimmung von DOC, TOC und des spektralen Absorptionskoeffizienten bei 254 nm.

Parallel zur Entnahme der speziellen Wasserproben wurde eine Teilprobe entnommen, an der im Laborfahrzeug unmittelbar nach der Entnahme der Gehalt an Karbonationen und CO_2 direkt an der Entnahmestelle ermittelt werden konnte.

Für die Vergleichsanalysen sind im November/Dezember 1985 zusätzliche Proben entnommen und nach den Vorgaben der beteiligten Fremdlabors in spezielle Gefäße abgefüllt und ggf. konserviert worden. Es erhielten das Geologische und Ingenieurbüro [REDACTED] (Fuldata)

- 1 PE-Flasche (1 l)
- 1 PE-Flasche (1 l), mit 2 ml konzentrierter HNO_3 konserviert
- 1 PE-Flasche (100 ml), mit 0,2 ml Chloroform konserviert
- 1 PE-Flasche (1 l), mit 1 Teelöffel Marmorpulver konserviert
- 1 Meßkolben (100 ml)

und das Wasserwirtschaftsamt Hildesheim

- 1 PE-Flasche (0,25 l)
- 3 PE-Flaschen (1 l)
- 1 PE-Flasche (1 l), konserviert mit 1 Teelöffel Marmorpulver.

Die Proben wurden allen Labors nach der Entnahme baldigst zugestellt.

Zur differenzierten räumlichen Erfassung der Radionuklidverteilung im oberflächennahen Grundwasser des Untersuchungsgebietes und unter Berücksichtigung unterschiedlicher hydraulischer Bedingungen wurde die Dichte des Meßstellennetzes gegenüber den hydrochemischen Beprobungen erhöht (Anl. 3) /17/. Aussagen über die jeweiligen geologischen Gegebenheiten an den Meßstellen sowie die hydrogeologischen Verhältnisse sind u. a. den Berichten zu den Teilaufgaben 2219.02 und 2219.06 zu entnehmen /3, 4/.

Für die Tritium-Bestimmung wurden je Meßstelle zwei 0,5 l Polyethenflaschen befüllt. Die Flaschen wurden mit Probenwasser gut ausgespült und dann unter Wasser befüllt und verschlossen.

Für die übrigen Messungen wurden jeweils vier 10-l-Polyethen-Weithalsflaschen abgefüllt. Die Flaschen wurden mit 2 l Probenwasser gefüllt, verschlossen, geschüttelt und wieder verworfen. Dieser Vorgang wurde einmal wiederholt. Anschließend wurden 5 l Probenwasser entnommen und jeweils 100 ml 0,1 n HNO_3 zugesetzt. Dann wurden die Flaschen bis auf 10 l mit Probenwasser aufgefüllt und verschlossen. Die für die Sr 90- und Pu 239/240-Messung vorgesehenen Proben wurden zusätzlich mit Plutonium- und inaktivem Strontium-Tracer, der in dem HNO_3 -Zusatz enthalten war, versehen. Die Tracerlösungen wurden vom GSF-Institut für Strahlenschutz bereitgestellt.

3 Hydrochemische Untersuchungen

3.1 Umfang und Methodik der hydrochemischen Analysen

Die dem vorliegenden Endbericht zugrunde liegenden Analysenergebnisse sind z. T. vor Ort und z. T. im Labor bestimmt worden.

Einige Eigenschaften des Wassers, die sich während Transport und Lagerung verändern, wurden bereits während der Probenentnahme bestimmt. Dazu gehören vor allem die Bestimmung der Temperatur, der elektr. Leitfähigkeit, des pH-Wertes, des Redox-Potentials (Eh-Wert) und der O_2 -Konzentration im kontinuierlichen Durchfluß, wobei das untersuchte Wasser unmittelbar aus dem Pumpenstrom abgezweigt wird. Diese Werte ändern sich durch Gasaustausch mit der Atmosphäre schnell. Dies gilt auch für die im Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht befindlichen Ionen HCO_3^- und CO_3^{2-} sowie das im Wasser gelöste CO_2 . Auch diese wurden deshalb unter Einsatz eines mobilen Titrierstandes im Laborwagen unmittelbar nach der Entnahme der Proben bestimmt.

Die Bestimmung der weiteren Hauptbestandteile Na^+ , K^+ , Li^+ , Ca^{2+} und Mg^{2+} sowie den Anionen Cl^- , SO_4^{2-} erfolgte ebenso im Labor, wie die Bestimmung der Nebenbestandteile Sr, Fe, Al, Si, Zn, Ba, Mn, PO_4 , BO_3 , I, Br, NO_3^- , NO_2^- und NH_4^+ sowie der Grundwassereigenschaften, die Rückschlüsse auf den Gehalt gelöster organischer Stoffe ermöglichen (DOC, COD und spektraler Absorptionskoeffizient im UV-Bereich bei 254 nm).

3.2 Qualitätskontrolle der analytischen Verfahren

Zur Absicherung der chemischen Analysen wurden bei zwei Fremdlabors Vergleichsanalysen in Auftrag gegeben. Der Begriff "Ringanalyse" wird in DIN 38402 Teil 41 und 42 definiert; dort werden auch der Untersuchungsumfang und die Versuchsauswertung beschrieben. Auf diese geltende Norm gestützt können die Vergleichsuntersuchungen, über die hier berichtet wird, hinsichtlich der Anzahl der beteiligten Labors und der erforderlichen Parallelbeprobungen nicht als "Ringanalyse" bezeichnet werden, weshalb auf diesen Begriff im weiteren verzichtet wird.

Zum Vergleich der chemischen Wasseranalysen wurden vereinbarungsgemäß insgesamt drei Laboratorien herangezogen, die regelmäßig Wasseruntersuchungen durchführen und mit der Analytik hochsalinärer Wasser vertraut sind:

- Labor 1: Institut für Tieflagerung, Braunschweig,
der Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung
München GmbH, Theodor-Heuß-Str. 4, 3300 Braunschweig
- Labor 2: Niedersächsisches Landesamt für Wasserwirtschaft,
Postfach, 3200 Hildesheim
- Labor 3: Geologisches und Ingenieurbüro [REDACTED]
[REDACTED]

Der Umfang der Analysen wurde den Labors vorgegeben, er war aber so umfassend, daß eine vollständige Erfassung der Hauptbestandteile erfahrungsgemäß erzielt werden konnte. Die Wahl des geeigneten Analysenverfahrens wurde den Labors dagegen selbst überlassen. Die Proben für den Analysenvergleich wurden durch Teilung einer homogenen Gesamtprobe von ausreichender Menge gewonnen. Die zur Abfüllung verwendeten Gefäße und eine evtl. Probenkonservierung wurden nach den Wünschen der beteiligten Labors vorgenommen. Nach der Entnahme wurden die Proben den Labors unverzüglich durch Boten zugestellt.

3.2.1 Vergleich der Analysen

Aus den Vergleichsdaten wurde jeweils der Mittelwert und die Standardabweichung der Einzelbestimmungen vom Mittelwert als Hilfsmittel für die Bewertung der Bestimmungen errechnet. Dazu mußten offensichtliche Ausreißer-Werte vorher eliminiert werden. Das Kriterium der Ausreißer-Elimination wurde anhand der DVWK-Empfehlung zu Inhalt und Genauigkeitsanforderungen chemischer Grundwasseranalysen /5/ bei 10 % festgelegt; dies entspricht der ungünstigsten Genauigkeitsanforderung für eine Einzelbestimmung. Wenn die Standardabweichung der Einzelbestimmung vom Mittelwert durch Elimination eines stark abweichenden Wertes unter 10 % zu drücken war, dann wurde dieser Wert als Ausreißer gekennzeichnet und eliminiert. Eine statistische Absicherung dieser Vorgehensweise kann bei nur drei Einzelbestimmungen nicht vorgenommen werden. Sie ist deshalb lediglich als plausibles Vorgehen zu bewerten, das eine Aussage über den "wahren" oder "falschen" Wert nicht zuläßt. Es ist damit also nur möglich, aus dem vorhandenen Datenmaterial, das trotz der geringen Anzahl von Vergleichsanalysen die Beurteilung des Grundwassers ermöglichen muß, einen plausiblen Wert herauszuziehen.

Der Vergleich der Analysen ermöglicht folgende Bewertung der Verfahren:

Die Bestimmung des Natriums erscheint relativ unproblematisch. Die Standardabweichungen sind gering, jedoch war bei 70 % der Proben eine Ausreißer-Elimination erforderlich, um akzeptable Standardabweichungen vom Mittelwert zu erhalten.

Überraschenderweise stellt sich dagegen heraus, daß die Bestimmung des Kaliums offenbar recht problematisch ist. Die Standardabweichung konnte auch nach Ausreißer-Elimination nicht immer unter 10 % gedrückt werden, bei zwei Proben differierten die analytischen Werte so stark, daß eine sinnvolle Mittelwertbildung nicht mehr möglich war.

Der Nachweis des Strontiums ist relativ unproblematisch.

Die Bestimmung des Calciums ist ebenfalls nicht befriedigend. Es konnten zwar stets plausible Mittelwerte gebildet werden, jedoch war meist ein Ausreißer-Wert zu eliminieren. Dies gilt ebenso auch für das Magnesium.

Ähnlich problematisch erwies sich die Bestimmung von Eisen und Mangan, für die bei fast jedem der zehn Analysenvergleiche eine Ausreißer-Elimination erforderlich war.

Die Bestimmung des Bariums war erwartungsgemäß sehr schwierig. Ein Labor hat häufig relativ stark überhöhte Konzentrationen gemessen, in 50 % der Proben war die Differenz zwischen den Einzelbestimmungen so groß, daß eine Ausreißer-Elimination nicht mehr möglich war. Da die Nachweisgrenze (0,001 mg/l) sehr weit unterhalb der gemessenen Konzentrationen liegt, müssen die Bestimmungsverfahren für Barium als relativ unzuverlässig angesehen werden. Dieses Ergebnis ist nicht überraschend.

Bei den Anionen erwies sich die Bestimmung der Chlorid-Konzentration erwartungsgemäß als unproblematisch. Die Standardabweichungen vom Mittelwert liegen alle unter 5 % und damit innerhalb der Reproduzierbarkeit analytischer Verfahren.

Dagegen konnten die bei den Sulfat-Bestimmungen aufgetretenen großen Abweichungen durchaus erwartet werden. Für die Messung der Sulfat-Konzentration in Grundwässern scheint es demnach kein befriedigendes Analysenverfahren zu geben. Dieses Ergebnis war zu erwarten.

Dies gilt auch für die Bestimmung des Borat-Ions. 70 % der Analysen erforderten eine Ausreißer-Elimination, bei den übrigen war eine Entscheidung hinsichtlich des plausibelsten Wertes wegen zu großer Differenz nicht möglich.

Iodid und Bromid lagen in allen Fällen erwartungsgemäß unterhalb der Nachweisgrenzen. Dennoch sind vereinzelt höhere Konzentrationen gefunden worden, so daß diese Bestimmungen für gering mineralisierte Grundwässer ebenfalls nicht sehr zuverlässig zu sein scheinen.

Überraschend ist das Ergebnis des Analysenvergleichs für das Hydrogenkarbonat. In der hydrochemischen Analytik gilt das Hydrogenkarbonat als einer der am leichtesten veränderlichen chemischen Parameter. Da es gleichzeitig für viele oberflächennahe Grundwässer der genetisch und technisch (Härtebilder) wichtigste ist, wird in allen einschlägigen Vorschriften auf einer Bestimmung unmittelbar nach der Probennahme bestanden, damit eine Veränderung des Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichtes mittels durch die Gefäßwandungen und -verschlüsse diffundierenden Kohlendioxids vermieden werden kann. Der Analysenvergleich zeigte indessen, daß trotz der großen zeitlichen Differenzen zwischen den Einzelbestimmungen die Ergebnisse stets sehr gut übereinstimmen. Dies konnte nach den bisherigen Kenntnissen nicht erwartet werden.

3.2.2 Aussagemöglichkeiten der Vergleichsanalysen

Der Vergleich von drei chemischen Analysen jeweils ein- und derselben Probe ermöglicht nicht die Ermittlung "richtiger" und "falscher" Werte. Auch sind Aussagen über die Qualität einzelner Labors im Prinzip nicht möglich. Dafür würde es einer größeren Zahl teilnehmender Labors bedürfen (die erforderliche Anzahl ist durch DIN 38402 Teil 41 vorgegeben), damit statistische Prüfverfahren angewendet werden können.

Die vorstehende Auwertung des Analysenvergleichs beschränkt sich daher auf eine qualitative Überprüfung der Plausibilität von Differenzen und Übereinstimmungen. Die Tatsache, daß dafür numerische Verfahren (Mittelwertbildung, Berechnung der Standardabweichung) eingesetzt werden, darf keinesfalls zu der Annahme verleiten, daß solche Zahlenwerte über "richtig" und "falsch" entscheiden können; sie lassen lediglich eine qualitative Aussage über die den jeweiligen Bestimmungen zuzuordnende Zuverlässigkeit zu. Die Qualitätsaussage muß überdies wegen der geringen Zahl von Einzelbestimmungen mit einem Vorbehalt versehen werden. Eine allgemeine Aussage über die Analytik von Grundwässern kann daraus nur bedingt abgeleitet werden.

Dagegen liegen die errechneten Ionenbilanzen (nur Labor 1 hat diesen Test auf Vollständigkeit und Richtigkeit seiner Analysen selbst vorgenommen) mit wenigen Ausnahmen innerhalb der oder geringfügig über den zu fordernden Toleranzen /5/. In einigen Fällen hätten die Labors durch Beachtung der Ionenbilanz auf Fehlbestimmungen selber aufmerksam werden können.

3.3 Hydrochemische Eigenschaften der quartären Grundwässer

Die Grundwässer im quartären Grundwasserleiter in der Umgebung der Schachtanlage Konrad stellen, im Sinne der Mineralwasser-Typisierung, die sinngemäß auch auf gering mineralisierte Wässer angewandt werden kann, überwiegend Ca-Na-SO₄-HCO₃-Wässer dar. Dies ist der verbreitetste Grundwassertyp. Auf der Anionenseite tritt gelegentlich das Chlorid als typbestimmender Wasserinhaltsstoff hinzu. Daneben treten jedoch vereinzelt Ca-HCO₃- und Ca-SO₄-Wässer sowie weitere Zwischentypen auf (Tab. 2).

Anzahl, Spannweite und Streuung der Meßwerte sind in Tab. 3 wiedergegeben.

Die elektrische Leitfähigkeit liegt zwischen 0,432 mS/cm (GW-Meßstelle X) und 2,24 mS/cm (GW-Meßstelle XIV), im Mittel bei 1,09 mS/cm \pm 36 %. Der größte Teil der untersuchten Grundwässer ist deshalb bereits als Mineralwasser anzusprechen. Diese, für oberflächennahe Grundwässer relativ hohe Gesamtmineralisation drückt sich auch in den Abdampfdruckständen von im Mittel 954 mg/l aus. Die Häufigkeitsverteilung der elektrischen Leitfähigkeiten ist jedoch nicht normalverteilt, sondern mehrgipflig. Dabei konzentrieren sich hohe Leitfähigkeiten ($> 1,4$ mS/cm) auf Grundwassermeßstellen, die im Einflußbereich der Schlackenverkipfung auf dem Betriebsgelände der Stahlwerke Peine-Salzgitter AG liegen (Grundwassermeßstellen VIIA, VIII, IX, XIII/XIV). Dieser Einflußbereich wird, entgegen der Hauptfließrichtung des Grundwassers, durch den Absenkungstrichter des Wasserwerks Bleckenstedt nach Süden hin verlagert.

Die pH-Werte streuen mit $6,94 \pm 4$ % geringfügig um den Neutralpunkt. Dies war, da die Wässer durch gelöste Spezies der Kohlensäure gut gepuffert werden, zu erwarten.

Die Redox-Potentiale streuen zwischen -73 mV und +424 mV (Mittelwert: 164 mV \pm 84 %) sehr stark. Die Werte sind bei oberflächennahem Grundwasser stark abhängig vom Flurabstand und der Verweilzeit des Grundwassers im Aquifer, und die starke Streuung der Werte ist dadurch in den meisten Fällen erklärbar. Zusätzlich spielt die chemische Zusammensetzung des jeweiligen Grundwassers eine wichtige Rolle, deren Einfluß auf den Redox-Status bei den vorliegenden Analysendaten jedoch nicht quantifiziert werden kann.

Bei den Kationen ist stets das Calcium vorherrschend. Der Mittelwert liegt bei 167 mg/l und streut mit \pm 41 % relativ stark. Dies ist auf die unterschiedliche Mineralisierung der Grundwässer (bzw. unterschiedliche anthropogene Beeinflussungen) zurückzuführen. Die höchsten Calcium-Konzentrationen (mehr als 200 mg/l) treten stets in solchen Grundwässern auf, die im Einflußbereich des Hüttengeländes der Stahlwerke Peine-Salzgitter liegen.

Daneben tritt das Natrium als Wassertyp-bestimmendes Kation auf. Sein Mittelwert liegt bei 69 mg/l \pm 55 %, d. h. die Streuung ist relativ groß. Hohe Natrium-Konzentrationen (mehr als 120 mg/l) treten ebenfalls stets im Einflußbereich der Hüttenwerke auf.

Die Kalium-Konzentrationen liegen im Mittel bei 9 mg/l \pm 74 %; sie streuen damit sehr stark um den Mittelwert. Hohe Kalium-Konzentrationen (mehr als 10 mg/l) gehen meist mit einer hohen Gesamtmineralisation einher und sind häufig in Grundwässern zu beobachten, die im Einflußbereich des Hüttenwerkes der Stahlwerke P + S liegen. Bei vielen Grundwassermeßstellen ist aber auch eine landwirtschaftliche Beeinflussung des Grundwassers anzunehmen (Düngung), die zu erhöhten Kalium-Konzentrationen führen kann.

Die Konzentrationen des Lithiums streuen mit Werten von 0,27 mg/l \pm 113 % sehr stark, liegen aber erwartungsgemäß niedrig. Das Lithium verhält sich als Alkali-Element ähnlich wie Natrium und

Kalium und ist in den vorliegenden Fällen in der Regel an eine höhere Gesamtmineralisation der Wässer gebunden, die auf eine Beeinflussung durch den Hüttenbetrieb bzw. durch landwirtschaftliche Bodendüngung zurückgeführt werden kann.

Die Magnesium-Konzentrationen von im Mittel 15 mg/l schwanken mit ± 48 % ebenfalls relativ stark um den Mittelwert. Die im Einflußbereich des Hüttenwerkes der Stahlwerke P + S auftretenden Grundwässer weisen, einhergehend mit ihrer erhöhten Mineralisation, meist Magnesium-Konzentrationen oberhalb des Mittelwertes auf. Auch Grundwassermeßstellen, in deren Umgebung mit verstärktem Einfluß durch landwirtschaftliche Düngung gerechnet werden muß, führen häufig Grundwässer mit erhöhten Magnesium-Konzentrationen.

Ebenso streuen auch die Strontium-Konzentrationen mit 1,28 mg/l ± 85 % relativ stark um den Mittelwert. Diese Streuungen sind offensichtlich nicht auf Unsicherheiten beim analytischen Bestimmungsverfahren zurückzuführen. Eine grundwassergenetische Interpretation ist mit dem vorliegenden Datenmaterial z. Z. nicht möglich.

Die Eisen-Konzentrationen streuen zwischen 0,01 mg/l und 6,9 mg/l. Der Mittelwert beträgt 1,80 mg/l ± 80 %. Die gefundenen Eisen-Konzentrationen sind für oberflächennahe Grundwässer als normal anzusehen.

Die Mangan-Konzentrationen liegen bei 0,8 mg/l ± 90 %. Sie streuen ähnlich wie die Eisen-Konzentrationen und sind mit diesen hochsignifikant korreliert.

Die Gehalte an Aluminium (0,23 mg/l ± 101 %), Silizium (7,9 mg/l ± 47 %), Zink (0,09 mg/l ± 94 %) und Barium (0,21 mg/l ± 242 %) streuen ebenfalls sehr stark. Höhere Silizium-Konzentrationen sind häufig an Grundwässer im Einflußbereich des Hüttenwerkes der Stahlwerke P + S gebunden, erhöhte Zink-Konzentrationen sind weder an bestimmte Grundwasser-Meßstellen (Ausbauart) noch an Grundwassertypen oder jahreszeitliche Einflüsse gekoppelt.

Stickstoffhaltige Ionen (NH_4 , NO_2 , NO_3) sind häufig ein Indikator für Einflüsse durch landwirtschaftliche Düngung. In insgesamt 80 chemischen Analysen konnte nur 21 mal Nitrat in Konzentrationen oberhalb der Nachweisgrenze gefunden werden. Nitrit- und Ammonium-Ionen konnten in jeweils 13 Fällen nachgewiesen werden. Die Nachweisgrenze liegt jeweils bei 0,01 mg/l und bildet die Untergrenze des Konzentrationsspektrums. Vom Nitrat wurden max. 92 mg/l gefunden (Mittelwert: 24,2 mg/l \pm 117 %), vom Nitrit max. 5,7 mg/l (Mittelwert: 1,1 \pm 155 %) und vom Ammonium-Ion max. 0,27 mg/l (Mittelwert: 0.067 \pm 123 %). Höhere Konzentrationen von NO_2 und NH_4 sind meist an sehr hohe Nitrat-Konzentrationen (mehr als 25 mg/l NO_2) gebunden, die in der Regel mit Einflüssen durch landwirtschaftliche Düngung in Verbindung gebracht werden können. In der Verteilung der stickstoffhaltigen Ionen im Grundwasserspiegel spiegelt sich jedoch in besonderem Maße auch der Redox-Status des jeweiligen Wassers wieder, so daß die einzelnen Ionen nur synoptisch beurteilt werden können.

Bei den Anionen spielt das Sulfat eine vorherrschende Rolle. Die Konzentrationen streuen zwar zwischen 36,3 mg/l und 1043 mg/l relativ stark (Mittelwert: 268 mg/l \pm 81 %), die meisten Werte liegen jedoch unter 250 mg/l. Sulfat-Konzentrationen von mehr als 200 mg/l treten fast ausschließlich in Grundwässern auf, die im Einflußbereich des Hüttenwerkes der Stahlwerke P + S, insbesondere im Einzugsbereich der Schlackenverkipfung im Nordteil des Hüttengeländes, liegen. Mit der Schlacke wird Schwefel in reduzierter Form in das Grundwasser eingebracht und dort schließlich zum Sulfat oxidiert. Wegen der Pufferkapazität des Grundwassers spiegelt sich dieser Prozeß im Chemismus nicht wieder, es sei denn in geringer oxidierten Schwefel-Spezies, die in den chemischen Analysen jedoch nicht berücksichtigt wurden. Da die Sulfatgehalte deshalb jedoch von der Reaktionskinetik des Oxidationsprozesses bzw. vom Sauerstoffangebot im Grundwasser abhängig sind, weisen

Grundwässer mit langen Verweilzeiten im Untergrund (Grundwasser-Meßstelle XIV) die höchsten Sulfat-Konzentrationen auf. Die starken Streuungen der Werte sind allerdings auch auf Probleme bei der analytischen Bestimmung des Sulfat-Ions zurückzuführen.

Die Hydrogenkarbonat-Konzentrationen sind gleichfalls häufig typbestimmend. Sie liegen zwischen 0 mg/l und 549 mg/l (Mittelwert: 323 mg/l \pm 28 %). Das Hydrogenkarbonat ist ein Wasserinhaltsstoff, der den pH-Wert des Grundwassers entscheidend mitbestimmt. Er bestimmt damit das Ausmaß der Pufferung des Grundwassers und damit die Lage einer Vielzahl chemischer Gleichgewichtsbedingungen im Grundwasser. Im Bereich der Schachtanlage Konrad sind als Quelle für Hydrogenkarbonat-Ionen im Grundwasser die Kalk- und Mergelsteine der kretazischen Plänerrücken (wie etwa im Bereich von Schacht Konrad 1), karbonatführende Schluffe in den Rinnenbereichen, sowie Karbonate aus Hochofenschlacke, die im Nordteil des Hüttengeländes der Stahlwerke Peine-Salzgitter AG in flüssiger Form in das Grundwasser verkippt werden, vorhanden. Ein hoher Hydrogenkarbonat-Gehalt im Grundwasser kann also im Einzelfall unterschiedliche Ursachen haben.

Die Chlorid-Konzentrationen, die vereinzelt ebenfalls typbestimmend sein können, streuen zwischen 26,5 mg/l und 136 mg/l (Mittelwert: 75 mg/l \pm 36 %). Hohe Chlorid-Konzentrationen stehen fast stets in Zusammenhang mit einer höheren Mineralisation der Wässer, müssen aber deshalb nicht zwangsläufig auf einen Eintrag von außen zurückgeführt werden.

Unerwartet waren die vielfach relativ hohen Jodid-Konzentrationen. Das Jod tritt im oberflächennahen Grundwasser gewöhnlich nur mit Konzentrationen unterhalb der Nachweisgrenze auf /19/. Die

Nachweisgrenze ist im vorliegenden Falle bei 0,02 mg/l anzusetzen. Bei insgesamt 80 Wasseranalysen konnte in 43 Analysen eine Jod-Konzentration oberhalb der Nachweisgrenze nachgewiesen werden. Die Analysenwerte streuen zwischen 0,01 mg/l und 1,55 mg/l (Mittelwert: 0,57 mg/l \pm 95 %). Diese hohen Werte können nicht allein mit den durch die schwierige Analytik des Jods bedingten Streuungen begründet werden. Jod-Konzentrationen über 1 mg/l werden nach den Regeln der Mineralwasser-Typisierung in die Typ-Bezeichnung aufgenommen /19/. Dies trifft auf alle Grundwassermeßstellen zu, die im engeren Einflußbereich des Hüttenwerkes der Stahlwerke P + S liegen. Die ungewöhnlich hohen Jod-Gehalte sind also mit großer Sicherheit auf eine Kontamination durch den Hüttenbetrieb zurückzuführen. Wegen der großen hydrogeochemischen Mobilität des Jods ist eine Verbreitung über ein größeres Gebiet auch bei geringen Grundwasserfließgeschwindigkeiten und über Immissionen (Grundwasserneubildung) möglich, so daß ein großer Teil der analysierten Grundwasserproben (wie auch die Oberflächengewässer) Jod-Konzentrationen oberhalb der Nachweisgrenze führt.

Erhöhte Phosphat-Konzentrationen sind im oberflächennahen Grundwasser häufig als Indikator für anthropogene Beeinflussungen (Haushaltsabwässer) zu werten. In den untersuchten Proben treten Phosphat-Konzentrationen zwischen 0,8 mg/l und 39 mg/l (Mittelwert: 7,5 mg/l \pm 112 %) auf. Allerdings liegen die meisten Grundwasser-Entnahmestellen, die hohe Phosphat-Konzentrationen geliefert haben, im Einflußbereich des Hüttenwerkes der Stahlwerke P + S.

Erhöhte Borat-Konzentrationen sind im oberflächennahen Grundwasser ebenfalls häufig als Indikator für anthropogene Beeinflussungen zu werten. In den untersuchten Proben treten Borat-

Konzentrationen zwischen 0,05 mg/l und 16,5 (Mittelwert: 3,4 mg/l \pm 30 %) auf. Davon liegen die meisten Meßwerte allerdings unterhalb von 1 mg/l und damit in dem Bereich normaler Konzentrationen in oberflächennahen Grundwässern. Ungewöhnlich hohe Borat-Konzentrationen wurden dagegen wiederholt in den Grundwassermeßstellen XIII/XIV, VII, VIII und IX beobachtet, bei denen eine starke Beeinflussung durch die Schlackenverkipfung angenommen werden muß. Dagegen ist eine Beeinflussung durch häusliche Abwässer in der Regel auszuschließen.

4 Altersklassifizierung der oberflächennahen Grundwässer

4.1 Methodik der Klassifizierung von Grundwasser nach Alter und Herkunft durch Umweltisotopenmessung

Die vorliegende Untersuchung stützt sich auf Messungen der Konzentrationen der Umweltisotope ^2H , ^3H , ^{13}C , ^{14}C und ^{18}O in Wasser. Im folgenden werden die Prinzipien der Messung und der isotopenhydrologischen Interpretation der Ergebnisse von Messungen dieser Umweltisotope beschrieben /vgl. 18/.

4.1.1 Tritium

In der Isotopenhydrologie wird vielfach Grundwasser als "jung" bezeichnet, welches sich ganz oder zu einem erheblichen Teil aus Niederschlägen gebildet hat, die nach 1952 gefallen sind. Es besitzt infolge der hauptsächlich bis 1963 durchgeführten Kernwaffenversuche ^3H -Konzentrationen, die heute noch ein Mehrfaches der natürlichen ^3H -Konzentrationen von Niederschlägen in Mitteleuropa betragen. Dagegen hat älteres Grundwasser, welches sich aus Niederschlägen gebildet hat, die vor 1953 in den Untergrund entsickerten, heute nur noch Tritiumgehalte von weniger als ca. 1 TU. Wenn man in einem Grundwasser Tritiumgehalte findet, die über etwa 1 TU liegen, so muß dieses Wasser zumindest Anteile aus Niederschlägen enthalten, die nach 1952 gefallen sind.

Die Bestimmung der Tritiumkonzentrationen erfolgte im allgemeinen durch partielle Elektrolyse von Wasserproben (0,1-0,4 l) und Langzeitmessungen in Flüssigkeitsszintillationsspektrometern. Die Meßergebnisse sind in Tritiumeinheiten (TU) angegeben. 1 TU ist definiert als das Verhältnis $^3\text{H}/^1\text{H} = 10^{-18}$ und entspricht 3,2 pCi/l Wasser bzw. 0,118 Bq/l Wasser.

4.1.2 Kohlenstoff-14 und Kohlenstoff-13

Der ^{14}C -Gehalt des Hydrogencarbonats, Karbonats und des freien CO_2 im Grundwasser stammt aus dem biogenen Boden- CO_2 und damit letztlich aus der Atmosphäre. Erfahrungsgemäß haben neu gebildete Grundwässer, die kein anthropogenes ^{14}C enthalten, in Abhängigkeit von den geologischen bzw. geochemischen Verhältnissen im Einzugsgebiet, einen ^{14}C -Anfangsgehalt zwischen etwa 60 und 100% modern /15/. Der ^{14}C -Gehalt wird als "% modern" angegeben, wobei 100% modern etwa dem spezifischen ^{14}C -Gehalt lebender organischer Substanz im Jahre 1950 entsprechen. 100% modern entspricht 6,11 pCi bzw. 0,226 Bq pro Gramm Kohlenstoff.

Lösungs- und Fällungsvorgänge sowie Kohlenstoff-Isotopenaustausch können den ^{14}C -Anfangsgehalt weiter verringern. Hinweise auf diese Vorgänge können u.U. am ^{13}C -Gehalt des Grundwassers erkannt werden. Der ^{13}C -Gehalt (bzw. das $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ -Isotopenverhältnis) wird als relative ‰-Abweichung von einem Kalksandsteinstandard (PDB) angegeben ($\delta^{13}\text{C}$ -Wert).

Zur Bestimmung der ^{14}C -Konzentrationen in den Grundwasserproben wurde aus 120 bzw. 180 l Wasser mit BaCl_2 und karbonatfreier NaOH der anorganische Kohlenstoff als BaCO_3 ausgefällt. Im Laboratorium wurden die ^{14}C -Konzentrationen nach Überführung des Probenkohlenstoffs in Benzol durch Langzeit-Flüssigkeitsszintillationszählung bestimmt. $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ -Isotopenverhältnisse wurden nach entsprechender Vorbehandlung der Proben massenspektrometrisch bestimmt.

4.1.3 Deuterium und Sauerstoff-18

Die hydrologische Anwendung von Messungen der ^2H - und ^{18}O -Gehalte (genauer: der Isotopenverhältnisse $^2\text{H}/^1\text{H}$ und $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) beruht auf den in natürlichen Wässern auftretenden Konzentrationsunterschieden.

Diese Unterschiede sind hauptsächlich durch temperaturabhängige Isotopenfraktionierungen bei Phasenumwandlungen (Verdunstung, Kondensation u.a.) vor der Bildung des Grundwassers bedingt. Der Zusammenhang zwischen den ^2H - und ^{18}O -Gehalten der Niederschläge wird weltweit im Mittel durch die sogenannte Niederschlagsgerade $\delta^2\text{H} = 8 \cdot \delta^{18}\text{O} + 10$ gegeben.

Die Messungen der $^2\text{H}/^1\text{H}$ - und $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ -Isotopenverhältnisse erfolgte nach entsprechender Präparation von kleinen Wasserproben (5 ml) massenspektrometrisch.

Die ^2H - und ^{18}O -Gehalte von natürlichen Wässern werden durch die relative ‰-Abweichung des Isotopengehalts der Wasserprobe von dem eines Meerwasser-Standards (V-SMOW) angegeben ($\delta^2\text{H}$ - bzw. $\delta^{18}\text{O}$ -Wert).

4.2 Ergebnisse und Interpretationen der Umweltisotopenmessungen

4.2.1 Tritium

126 Proben von oberflächennahen Grundwässern aus der Umgebung der Schachtanlage Konrad wurden auf ihre Tritium-Konzentrationen untersucht. Diese Proben sind in der Zeit vom 15.05.1984 bis 05.12.1985 aus 31 Grundwasser-Meßstellen durch Pumpen unmittelbar aus der Filterstrecke entnommen worden. Die Grundwasser-Meßstellen stehen ca. 5 bis ca. 40 m tief in feinkiesigen bis grobsandigen Schichten, die z.T. mit Lehmen und Schluffen überdeckt sind.

Die ermittelten Tritium-Konzentrationen liegen zwischen $< 0,7$ und 82 TU (Tab. 4). Der weite Konzentrationsbereich der Tritiumkonzentrationen deutet auf ein breites Verweilspektrum der erfaßten Grundwässer. Dieses reicht von relativ altem Grundwasser, das keine oder nur geringe Anteile enthält, die sich aus Niederschlägen der letzten drei Jahrzehnte gebildet haben, bis hin zu Grundwasser, welches sich überwiegend oder vollständig aus Niederschlägen innerhalb der Zeitspanne von 1953 bis heute gebildet hat. Außerdem können Mischungen z.B. aus jungen, tritiumhaltigen und aus relativ alten, tritiumfreien Grundwässern in Betracht kommen.

Das zur Abschätzung der mittleren Verweilzeiten des Grundwassers in der Isotopenhydrologie üblicherweise angewendete Exponentialmodell /6, 16/ setzt eine exponentielle Verteilung der verschieden alten Grundwasseranteile infolge vollständiger Durchmischung voraus. Diese Bedingung ist im Untersuchungsgebiet wegen der komplexen hydrogeologischen Struktur des quartären Grundwasserleiters nicht erfüllt. Deshalb mußte auf die einfachste Altersklassifizierung der Grundwässer anhand ihrer ^3H -Gehalte zurückgegriffen werden.

Der weite Tritiumkonzentrationsbereich spiegelt die komplexe hydrogeologische Situation wider. Diese ist gekennzeichnet durch:

- das Nebeneinander von Schichten mit großer und geringer Durchlässigkeit (Kiese und Sande bzw. schluffig-feinsandige Ablagerungen).
- eine starke Störung des natürlichen Grundwasserströmungsfeldes insbesondere durch die Grundwasserentnahme des Wasserwerkes Bleckenstedt.

In den Proben aus den Grundwasser-Meßstellen IA, III (Proben vom 03.11.1984 bis 14.11.1985), X, XV, 1166 (Proben vom 04.11.1985 und 05.12.1985), 1168 und 2210 ließ sich innerhalb der Meßgenauigkeit des angewandten Analysenverfahrens kein oder nur wenig Tritium (weniger als ca. 10 TU) nachweisen. Diese Proben bestehen im wesentlichen aus relativ altem Grundwasser, das keine oder nur geringe Anteile von Grundwasser enthält, welches sich aus Niederschlägen der letzten drei Jahrzehnte gebildet hat. Alle anderen Proben enthalten Grundwasser, welches sich vollständig oder mindestens zu einem erheblichen Anteil aus filtrierten Niederschlägen der letzten drei Jahrzehnte gebildet hat.

Die Tritiumkonzentrationen zeigen in den Grundwasser-Meßstellen III, VI, VIIA, VIII, XVI, 173, 1111, 1165, 1166 und 2407 zeitliche Änderungen: z.B. kann bei hoher Pumpleistung durch die Absenkung des Grundwasserspiegels je nach hydrogeologischer Situation sowohl ein Zutritt jüngerer Wässer (z.B. aus gut leitenden Schichten) als auch älterer Wässer (z.B. aus Tonlinsen oder Festgesteinsklüften) erfolgen, wobei Mischwässer unterschiedlicher Tritiumkonzentrationen entstehen können. Dagegen haben sich die Tritiumkonzentrationen aus den Grundwasser-Meßstellen IA, V, IXA, X, XIII, XIV, XVII, XVIII, XIX, 663, 1272, 2210, 2384 und 2393 über den ganzen Untersuchungszeitraum hinweg nicht oder nur geringfügig verändert.

Eine Abhängigkeit der Tritiumkonzentrationen allein von der Fördertiefe (ohne Berücksichtigung der Morphologie, des Meßstellenausbaus, der Geologie und der Hydraulik) ist regional nicht zu erkennen. Dies zeigt sich auch lokal dort, wo jeweils eine flache und eine tiefe Grundwasser-Meßstelle nebeneinander

stehen. So lagen die Tritiumkonzentrationen z.B. im Grundwasser aus der Grundwasser-Meßstelle XV (Filterstrecke zwischen 22,30 m und 37,30 m u. Gel.) unter 5 TU, während das Grundwasser aus der flacheren Meßstelle XVI (Filterstrecke zwischen 7,30 m und 8,30 m u. Gel.) Tritiumkonzentrationen zwischen etwa 50 und 65 TU enthielt. Dies läßt eine relativ geringe Grundwasserbewegung unterhalb der ca. 12 m mächtigen Schluffschicht vermuten. Andererseits enthalten die Wasserproben aus den ebenfalls eng benachbarten und verschieden tiefen Grundwasser-Meßstellen XIII und XIV mit jeweils ca. 40 TU hohe Tritiumgehalte: in diesem Fall besitzt die 17 m mächtige Schluffschicht oberhalb der Filterstrecke der Grundwasser-Meßstelle XIII entweder eine gewisse (partielle?) Durchlässigkeit oder eine nur geringe horizontale Erstreckung.

Anhand der Leitfähigkeitsmeßwerte konnte keine deutliche Beziehung zwischen der Tritiumkonzentration und der Mineralisation der Grundwässer festgestellt werden; tendenziell höhere Leitfähigkeiten der Grundwässer bei höheren ^3H -Konzentrationen hätten darauf hindeuten können, daß jüngere Grundwässer stärker anthropogen belastet sind.

4.2.2 Kohlenstoff-14

Die ^{14}C -Messungen an Grundwasserproben ergaben ^{14}C -Konzentrationen von 52 bis 105% modern sowie zugehörige $\delta^{13}\text{C}$ -Werte von -18,7 bis -12,8‰.

Damit liegen die ^{14}C - und ^{13}C -Gehalte der untersuchten Grundwässer in einem Bereich, der für junge (^3H -Modellalter unter ca. 2000 Jahre) Grundwässer üblicher Genese erwartet werden kann. Dabei zeigen die auf Grund der hohen Tritiumgehalte altersmäßig jüngsten Proben im Mittel auch die höchsten ^{14}C -Gehalte, die in diesen Fällen unter Annahme regional vergleichbarer ^{14}C -Anfangsgehalte

durch den relativ hohen Anteil von ^{14}C aus Kernwaffenexperimenten bedingt sind. Die Proben mit niedrigeren bzw. nicht nachweisbaren Tritiumgehalten zeigen im Mittel ^{14}C -Konzentrationen von etwa 70% modern mit einem allerdings relativ großen Schwankungsbereich. Sie repräsentieren damit unter der hydrogeologisch plausiblen Annahme, daß keine Zumischungen von sehr altem Grundwasser erfolgen, annähernd den ^{14}C -Anfangsgehalt in diesem Untersuchungsgebiet, dessen Kenntnis für die altersmäßige Klassifizierung von Grundwasser nach der ^{14}C -Methode notwendig ist.

4.2.3 Deuterium- und Sauerstoff-18

Die Deuterium- und ^{18}O -Gehalte der 89 analysierten Proben liegen bei $\delta^2\text{H} = -64,1$ bis $-53,5$ ‰ bzw. $\delta^{18}\text{O} = -9,30$ bis $-7,33$ ‰ (Tab. 4) und damit in einem Bereich, der für neugebildete Grundwässer in diesem Gebiet erwartet werden kann. Trägt man die $\delta^2\text{H}$ - gegen die $\delta^{18}\text{O}$ -Werte auf (Abb. 1), so erkennt man, daß die meisten - wahrscheinlich regional bedingt - etwas unterhalb der sogenannten Niederschlagsgerade liegen, die durch die Beziehung $\delta^2\text{H} = 8 \cdot \delta^{18}\text{O} + 10$ gegeben ist.

Ein Vergleich zeigt, daß sich die δ -Werte bei den meisten Probenahmestellen im Untersuchungszeitraum nicht oder nur wenig geändert haben. Ausnahmen sind die $\delta^2\text{H}$ - und $\delta^{18}\text{O}$ -Werte der Wasserproben aus den Grundwasser-Meßstellen XIV, XVII und 173.

Für die Wasserproben insbesondere aus der Grundwasser-Meßstelle IXA, aber auch aus den Grundwasser-Meßstellen XIV, VIII und XIII ergaben sich relativ hohe $\delta^2\text{H}$ - und $\delta^{18}\text{O}$ -Werte, die durch Verdunstung bedingt sein können (Schlackenverwertung). Ein Einfluß von versickertem Wasser aus dem Kanal oder Auflandebecken ist in einigen Fällen (XIII, XIV) ebenfalls möglich.

5 Konzentrationen natürlicher Radionuklide

5.1 Messung der Aktivitätskonzentration

Die Ausmessung der Proben wurde von den GSF-Instituten für Radiohydrometrie (H-3) und dem Institut für Strahlenschutz in Neuherberg bei München (alle übrigen Messungen) vorgenommen.

5.1.1 Nachweisgrenzen

Die Nachweisgrenzen wurden nach Maßgabe der Strahlenschutzverordnung /9/ sowie der "Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen" /10/ festgelegt. Für die Umgebungsüberwachung müssen die Nachweisgrenzen für künstliche Radionuklide jeweils 1/30 der Konzentration, bei der bei einer jährlichen Trinkwasseraufnahme von 880 l /3/ die Grenzwerte des § 45 StrlSchV erreicht werden, betragen. Die Strahlenexposition durch natürliche Radionuklide (hier Uran-Thorium-Folgeprodukte, K 40) bleibt nach § 28 (2) StrlSchV unberücksichtigt.

Aus den Werten gemäß Anlage IV, Spalte 6 der StrlSchV (Grenzwerte der Jahres-Aktivitätszufuhr für Ingestion) bzw. /10/ ergeben sich damit folgende Nachweisgrenzen (in Bq/m³):

<u>Radionuklid</u>	<u>NWGR nach /3/</u>	<u>erreichte NWGr</u>
H 3	$2,2 \cdot 10^5$	100
Sr 90	27	11
Cs 137	1000	8
Pb 210	8	60
Ra 226	0,8	20
U nat	38	200
Pu 239/240	300	0,2
Th nat	80	30
Rest-Beta	110	110

Bei den künstlichen Radionukliden werden die erforderlichen Nachweisgrenzen immer und z. T. erheblich unterschritten. Die Nachweisgrenzen für die gammaspektrometrische Bestimmung der natürlichen Radionuklide entsprechen noch der Anforderung nach /10/, wonach für die gammaspektrometrische Ermittlung der Aktivitätskonzentration von Einzelnucliden ein Wert von 74 Bq/m^3 , bezogen auf Co 60, angegeben wird.

Bei der Errechnung der erreichten Nachweisgrenzen werden die in der KTA-Richtlinie /10/ angegebenen Beziehungen verwendet. Für den Faktor der statistischen Sicherheit wird der Wert $K = 3$ gewählt, was einer Vertrauenswahrscheinlichkeit von 99,7 % entspricht.

5.1.2 Meßverfahren

Für die übrigen gammaspektrometrischen Aktivitätsbestimmungen werden die Proben folgendermaßen behandelt:

- Eindampfen der Probenmenge von jeweils 10 l bis fast zur Trockene.
- Aufschluß des gesamten Rückstandes mit Flußsäure und Perchlorsäure, Zugabe von 35 ml 9N-Salzsäure, Abfüllung in eine Probenflasche mit luftdichtem Abschluß.

Zunächst wird dann der Pb 210-Gehalt durch Messung der 46,5 keV-Gammalinie mit einem Reinstgermanium-Detektor bestimmt. Die Radionuklide mit höherenergetischen Gammalinien werden mit einem NaJ (Tl)-Spektrometer ermittelt. Cs 137 und K 40 werden direkt über die 661 bzw. 1461 keV-Linie gemessen.

Die Messung von U 238, Ra 226 und Th 232 geschieht indirekt über eine Aktivitätsbestimmung von Th 234 (63,3 keV), Pb/Bi 214 (295, 352 und 609 keV) sowie von Ac 228 (911 und 969 keV). Damit sich radioaktives Gleichgewicht zwischen Ra 226 und Pb/Bi 214 über die Zwischenzerfallsprodukte Rn 222 und Po 218 einstellen kann, werden die Proben erst einen Monat nach der Aufbereitung ausgemessen.

Zur Messung der Pu 239/240-Isotope werden diese in einem stark basischen Ionenaustauscher abgetrennt /12/, auf einem Edelstahlplättchen abgeschieden und durch Alphaspektrometrie in einer Gitterionisationskammer bestimmt /12/.

Sr 90 wird nach dem klassischen Nitrat-Verfahren /13/ abgetrennt und dessen Aktivität nach einer Wartezeit von 14 Tagen, während der sich das Gleichgewicht mit dem Tochternuklid Y-90 einstellt, auf einem Low-Level-Betazähler gemessen.

Zur Bestimmung der Beta-Gesamtaktivität werden die Proben in einer Meßschale von 20 cm Durchmesser bis zur Trockene eingedampft und anschließend in einem Großflächen-Methandurchflußzähler gemessen.

5.2 Meßergebnisse

In keinem Fall konnten künstliche Radionuklide, die vorwiegend im Fallout vorkommen (Sr 90, Pu 239/240, Cs 137) oberhalb der für die jeweilige Messung erreichten Nachweisgrenzen ermittelt werden. (Nachweisgrenze 11 Bq/m³ für Sr 90, 0,2 Bq/m³ für Pu 239/240 und 8 Bq/m³ für Cs 137).

Die Brutto-Betaaktivität wird in fast allen Proben durch das natürliche Radionuklid K 40 hervorgerufen. Einzelne Proben weisen maximale K 40-Konzentrationen von mehr als 2000 Bq/m³ auf. Die K 40-Konzentration lag im Mittel in der zweiten Probennahmekampagne im Frühjahr 1985 etwas höher als im Herbst 1984. Außer bei zwei Proben läßt sich bei allen übrigen Proben feststellen, daß die K 40-Aktivität und die Brutto-Betaaktivität gleich sind. Dabei ist zu berücksichtigen, daß der statistische Fehler der beiden Messungen Unsicherheiten >100 Bq/m³ bedingt.

Bei der Probe aus der Grundwassermeßstelle 1365 vom 04.11.1984 wird die Beta-Aktivität größtenteils durch Folgeprodukte von Ra 226 hervorgerufen (Pb 214, Bi 214). Bei dieser Probe wurde eine Radium 226-Aktivitätskonzentration von 200 Bq/m³ nachgewiesen. Bei der Probe aus der Grundwassermeßstelle 1166 vom 04.05.1985 wird die Beta-Aktivität durch Folgeprodukte aus der Uran- und der Thorium-Zerfallsreihe mitbestimmt.

Die Tritium-Konzentrationen in den Grundwasserproben liegen in dem weiten Bereich zwischen < 90 Bq/m³ und 9000 Bq/m³. Die Änderungen in den Halbjahreszeiten sind z. T. erheblich, lassen aber keinerlei Systematik erkennen.

6 Zusammenfassende Interpretation der hydrochemischen Eigenschaften quartärer Grundwässer

Der quartäre Grundwasserleiter in der Umgebung der Schachtanlage Konrad beschränkt sich auf Nord/Süd-gerichtete glazifluviatile Rinnen, die durch Querrinnen zu einem Rinnensystem verbunden sind. Der Grundwasserabstrom erfolgt deshalb überwiegend nach Norden. Die Rinnen werden durch topographische Hochgebiete begrenzt, die durch Aufragungen von Oberkreide-Gesteinen (Pläner) gebildet werden. Dies sind die Gebiete, in denen der größte Teil der Grundwasser-Neubildung stattfindet.

Nach den Ergebnissen der stratigraphischen Untersuchungen /4/ sind die quartären Lockergesteinsablagerungen des Untersuchungsgebietes überwiegend saale-kaltzeitlicher Entstehung. Im einzelnen handelt es sich um Beckenschluffe, glazifluviatile Sande und Kiese und einen drenthestadialen Geschiebemergel, der nur lokal erhalten ist. Im Hangenden bilden spätweichselzeitlicher Löß und Lößlehm den Abschluß.

Dieser quartäre Grundwasserleiter weist erhebliche Mächtigkeitsschwankungen auf, die Maximalmächtigkeit liegt bei 61 m. Bezeichnend für den Aufbau des Aquifers ist ein starker lateraler und vertikaler Wechsel zwischen tonig-schluffigen Lockergesteinen, Sanden und Kiesen. Gering durchlässige Lockergesteine sind vereinzelt linsenhaft eingeschaltet, so daß lokal ein stockwerksähnlicher Aufbau des Grundwasserleiters ausgebildet sein kann. Die Uneinheitlichkeit des lithologischen Aufbaus bedingt starke Wechsel der Durchlässigkeit und Porosität des Aquifers. Dies hat aufgrund unterschiedlicher Wechselwirkungen mit dem Leitergestein und unterschiedlicher Verweilzeiten der Grundwässer im Aquifer für den Chemismus der abfließenden Grundwässer möglicherweise eine gewisse Streubreite der chemischen Zusammensetzung zur Folge.

Die Grundwässer im quartären Grundwasserleiter in der Umgebung der Schachtanlage Konrad weisen keinen natürlichen Chemismus auf, wie er unter ungestörten Bedingungen ein Grundwasser in den dort verbreiteten Grundwasserleitern prägen würde. Vielmehr sind sie durch langjährige Konzentration von Schwerindustrie in der Region und durch die damit verbundenen Immissionen nachhaltig überprägt. Die intensive, aber zeitweise stark schwankende Grundwasser-Entnahme durch das Wasserwerk Bleckenstedt im Zentralbereich des Untersuchungsgebietes bedingt zudem einerseits eine Ablenkung bzw. Umkehr der natürlichen Grundwasser-Fließrichtung, sowie andererseits eine Verringerung der natürlichen Grundwasser-Verweilzeiten im Untergrund (vgl. Kap. 4) und damit möglicherweise der Mineralisierung der Wässer.

Trotz des komplizierten Aufbaus des Grundwasserleiters und der unterschiedlichen, sich überlagernden anthropogenen Beeinflussungen der Grundwasserzusammensetzung und -hydraulik kann eine Typisierung der Grundwässer vorgenommen werden (Tab. 2). Ein wichtiges Ziel des Ausbaus des Grundwassermeßstellennetzes Konrad ist damit erreicht worden. Eine Regionalisierung der Grundwassereigenschaften ist allerdings nur mit gewissen Einschränkungen möglich. Starke, lokal begrenzte anthropogene Grundwasserveränderungen hätten beispielsweise für die Konstruktion von Verteilungsplänen einzelner Grundwassereigenschaften eine örtlich erheblich größere Meßstellendichte erfordert. Auf die Erstellung solcher Verteilungspläne mußte deshalb zur Vermeidung unausweichlicher Fehlinterpretationen verzichtet werden. Anstelle dessen wurde eine Typisierung der Grundwässer nach den Hauptionen-Gehalten vorgenommen (Tab. 2, Anl. 2), die der Interpretation zugrunde liegt.

Zur Vorabklärung der Grundwassereigenschaften und der Eignung der Grundwassermeßstellen für die hydrochemische Bearbeitung wurden im November/Dezember 1984 und im Juni 1985 Temperatur- und Leitfähigkeitsprofile aufgenommen. Daraus ist, soweit das prinzipiell möglich ist, zu erkennen

- daß die Meßstellen des Grundwassermeßstellennetzes Konrad den Anforderungen für die Grundwasserstandbeobachtung und für die hydrochemische Beprobung genügt;
- daß Klimaschwankungen sich bis in 10 - 20 m Tiefe auswirken können;
- daß die mittlere Grundwassertemperatur unterhalb der klimatisch beeinflussten Tiefe ca 9°C beträgt.

Im gesamten Untersuchungsgebiet sind weniger kontaminierte Grundwässer von stärker kontaminierten zu unterscheiden. Der Unterschied liegt bei den Anionen vorwiegend im Sulfat/Hydrogenkarbonat-Verhältnis, während die prozentualen Anteile des Chloridgehaltes an der Anionenkonzentration relativ stabil bleibt. Auf der Kationenseite dokumentiert er sich dementsprechend im Natrium-/Calcium-Verhältnis, während der Magnesium-Anteil am Kationen-Gesamtgehalt relativ stabil ist (Abb. 2). Anthropogen stärker kontaminierte Grundwässer weisen deshalb einen höheren Calcium-Sulfat-Gehalt auf als gering kontaminierte Wässer. Die extremste Kontamination wurde an Proben aus der Grundwasser-Meßstelle IXA festgestellt.

Grundwasser mit annähernd natürlicher chemischer Zusammensetzung ist allenfalls in den Randzonen des Untersuchungsgebietes (Grundwasser-Neubildungsbereiche) zu erwarten, es hat dort aber auch wegen der geringen Verweilzeiten im Grundwasserleiter noch nicht die in den zentralen Rinnenbereichen zu erwartende Mineralisierung. Die Randzonen des Untersuchungsgebietes werden überwiegend von topographischen Hochlagen eingenommen, die geologisch von Plänerkalk-Rücken gebildet werden. In diesen Gebieten herrschen Grundwässer des Ca-Cl-HCO₃-Typs vor, in denen sich die Wechselwirkung des versickernden, sauren Niederschlagswassers mit dem Bindemittel der Lößdecke und den liegenden kreidezeitlichen Kalksteinen widerspiegelt.

In den zentralen Rinnenbereichen entstehen daraus durch die anthropogene Überprägung Mineralwässer vom $\text{Ca-Na-SO}_4\text{-HCO}_3$ -Typ. Eine deutliche Erhöhung des Mineralisierungsgrades (und vor allem der Sulfat-Konzentrationen, vgl. Abb. 3) der quartären Grundwässer wird durch die Verkipfung flüssiger Hochofenschlacken im Nordteil des Hüttengeländes verursacht. Auch die künstliche Grundwasserneubildung im Bereich der Auflandebecken nordwestlich von Schacht Konrad 2 mag zu dieser Erhöhung der Mineralisierung des Grundwassers beitragen; beide Effekte sind wegen der räumlichen Nähe der Kontaminationsquellen und wegen der dafür zu geringen Meßstellendichte nicht zu trennen.

Eine zusätzliche Folge der Schlackenverkipfung ist die beträchtliche Erhöhung der Grundwassertemperatur (z. B. in der Meßstelle IXA). Wegen der Ausdehnung des Absenkungstrichters des Wasserwerkes Bleckenstedt bis in den Bereich der Grundwassermeßstelle XIII/XIV bleibt die Temperaturerhöhung allerdings lokal begrenzt und wirkt sich im nördlichen Grundwasserabstrombereich nicht meßbar aus.

Auf Emissionen des Hüttenwerkes sind mit großer Wahrscheinlichkeit auch die erhöhten Jodid-Konzentrationen zurückzuführen. Jod ist normalerweise im oberflächennahen Grundwasser nur mit Konzentrationen unterhalb der Nachweisgrenze normaler chemischer Analysenverfahren enthalten. Die Häufigkeitsverteilung der Jodid-Konzentration ist zweigipflig, wobei besonders stark erhöhte Werte (0,7 mg/l) in den Grundwassermeßstellen III, VI, VIIA, IXA und XIII nachzuweisen waren (vgl. Anl. 2). Grundwässer aus diesen Meßstellen weisen z. T. auch eine erhöhte Mineralisierung auf. Die große geochemische Mobilität des Jods in Form des Jodid-Ions ermöglicht seine Verbreitung auch bei geringen Grundwasser-Fließgeschwindigkeiten und über Immissionen im Zuge der Grundwasserneubildung.

Auch die Borat-Konzentration geht mit der Mineralisation der Grundwässer einher (Abb. 4), wobei erhöhte BO_3 -Gehalte bei den Grundwasser-Meßstellen im Einflußbereich des Schlackenverkipfungsbetriebes der Stahlwerke P + S besonders auffällig sind. Bei geringen Borat-Gehalten in gering kontaminiertem Grundwasser, stellen sich in den höher mineralisierten (da stärker kontaminierten) Grundwässern relativ hohe Borat-Konzentrationen von mehr als 10 mg/l ein. Daneben existiert ein Übergangsbereich mit Mischwässern, der auch an den Konzentrationen anderer Spurenelemente beobachtet werden kann, deren genetische Signifikanz nicht so deutlich ist, wie die des Bors, das bekanntlich aus Schwermetall-Hüttenbetrieben emittiert wird.

Die Aussagefähigkeit anderer Spurenelemente ist wegen der konkurrierenden anthropogenen Einflüsse auf das Grundwasser (auch die landwirtschaftliche Nutzung der Region wäre darin einzubeziehen) mehrdeutig. Im Chemismus des oberflächennahen Grundwassers spiegelt sich vor allem aber der Charakter des Untersuchungsgebietes als Industrielandschaft wieder. Eine Rekonstruktion des natürlichen Grundwasserchemismus ist deshalb nur mit Vorbehalten möglich. Am wahrscheinlichsten ist die Annahme, daß sich unter natürlichen Bedingungen auch in den zentralen Rinnenbereichen ein ähnlicher Grundwassertyp wie im Aquifer der randlichen Hochlagen bei einer insgesamt aufgrund der längeren Grundwasserverweilzeiten erhöhten Mineralisierung des Grundwassers einstellen würde.

7 Literaturverzeichnis

- /1/ Brassler, Th., Faber, P. & Busch, W. (1985): Temperatur- und elektrische Leitfähigkeitsmessungen im oberflächennahen Grundwasser in halbjährlichen Abständen. - Abschlußbericht zu LV-Nr. 2219.06 AP-Nr. 2, vorgelegt im Auftrag der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (1. Oktober 1985).
- /2/ Brassler, Th. & Busch, W. (1985): Hydrochemische Untersuchungen und Altersbestimmungen des oberflächennahen Grundwassers. - Zwischenbericht zu LV-Nr. 2219.06 AP-Nr. 4, I. Bauabschnitt, vorgelegt im Auftrag der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (6. Mai 1985).
- /3/ Brassler, Th., Busch, W., & Faber, P. (1985): Fließrichtung des Grundwassers in quartären Grundwasserleiter. - Abschlußbericht zu LV-Nr. 2219.02 AP-Nr. 7, vorgelegt im Auftrag der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (15. November 1985).
- /4/ Busch, W. (1985): Quartärstratigraphie und Kiesanalyse, II. Bauabschnitt 1985. - LV-Nr. 2219.14 AP-Nr. 1 vorgelegt im Auftrag der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt.
- /5/ DVWK (1979): Empfehlung zu Umfang, Inhalt und Genauigkeitsanforderungen bei chemischen Grundwasseruntersuchungen. - DVWK-Regeln zur Wasserwirtschaft, H. 111, 6 S.; Hamburg, Berlin (Parey).
- /6/ Erikson, E. (1962): Radioactivity in Hydrology. - Nuclear Radiation in Geophysics (ed. by H. Israel & A. Krebs) 42, Heidelberg (Springer).

/7/ Faber, P., Busch, W., Rauert, W., Stichler, W. & Wolf, M. (1985): Hydrochemische Untersuchungen und Altersbestimmungen des oberflächennahen Grundwassers. - Abschlußbericht zu LV-Nr. 2219.06 AP-Nr. 4, I. Bauabschnitt, vorgelegt im Auftrag der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (30. November 1985).

/8/ Faber, P. & Busch, W. (1985): Hydrochemische Untersuchungen und Altersbestimmungen des oberflächennahen Grundwassers. - Zwischenbericht zu LV-Nr. 2219.06 AP-Nr. 4, II. Bauabschnitt, vorgelegt im Auftrag der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (21. Juli 1985)

/9/ Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV), Bundesgesetzblatt, Jahrgang 1977, Teil 1.

/10/ Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen, GMBL Nr. 32, 30. Jahrgang, S. 668 - 683 (1979).

/11/ Allgemeine Berechnungsgrundlage für die Strahlenexposition bei radioaktiven Ableitungen mit der Abluft oder in Oberflächengewässern, GMBL Nr. 21, 30. Jahrgang, S. 271 - 436 (1979).

/12/ Talvitie, N. A.: Radiochemical Determination of Plutonium in Environmental und Biological Samples by Ion Exchange. Analytical Chemistry Vol. 43, ND 13, p 1827 (1971).

/13/ Harley, I.: Radiochemical Determination of Sr 90, HASL, E-Sr 01-01 (1972).

/14/ Hötzl, H. et al.: Radionuclide Concentration in Ground Level Air and Precipitation in South Germany from 1976 to 1982, GSF-S-956 (1983).

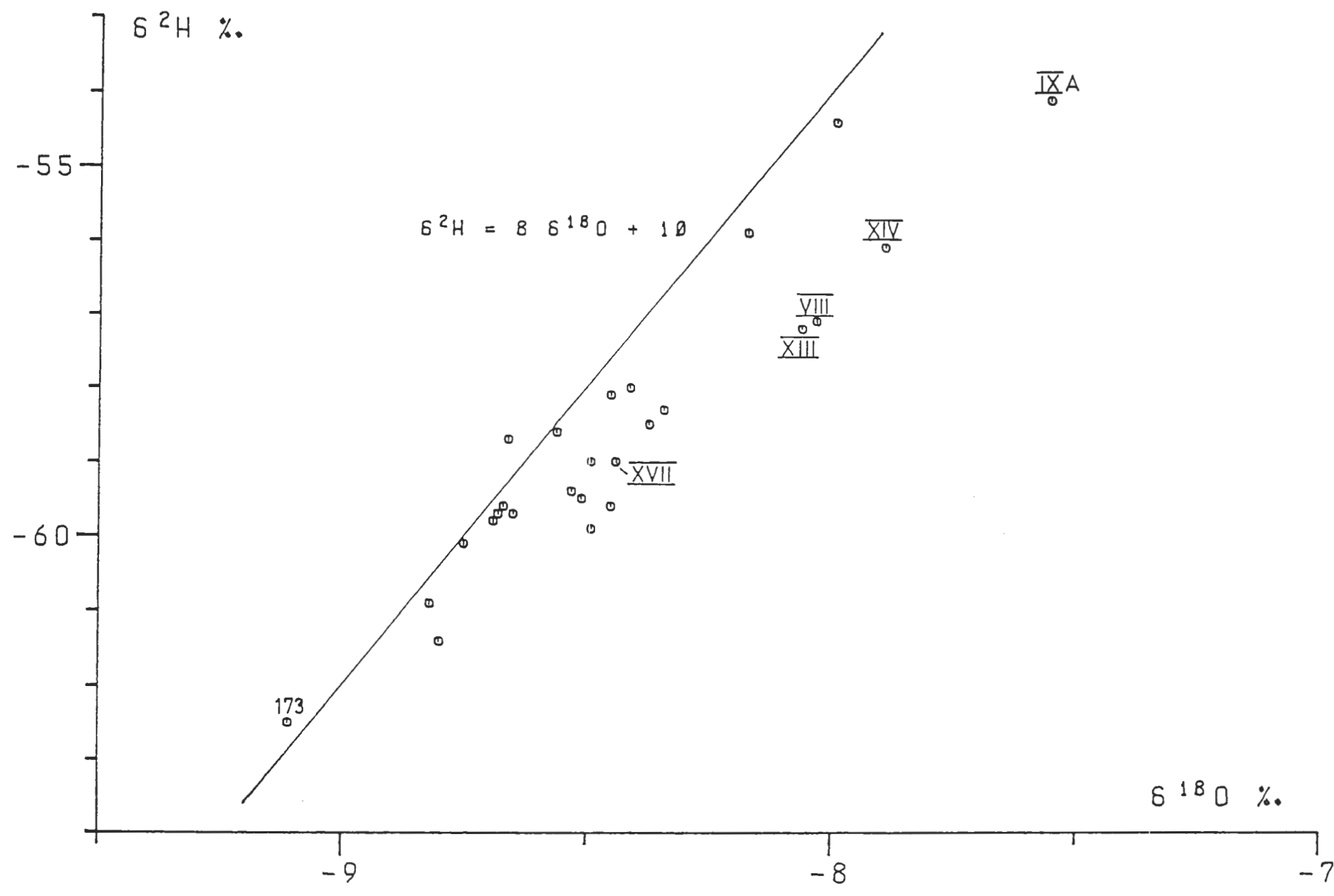
/15/ Geyh, M.A. (1972): On the determination of the initial ^{14}C content in groundwater. In: Rafter, T.A. & Grant-Taylor, T. (Eds.), Proc. 8th Int. Conf. Radiocarbon Dating, Wellington, New Zealand, 369-380.

/16/ Geyh, M.A. & Groschopf, P. (1978): Isotopenphysikalische Studie zur Karsthydrogeologie der Schwäbischen Alb. - Abh. Geol. Landesamt Baden-Württemberg 8, 7-58.

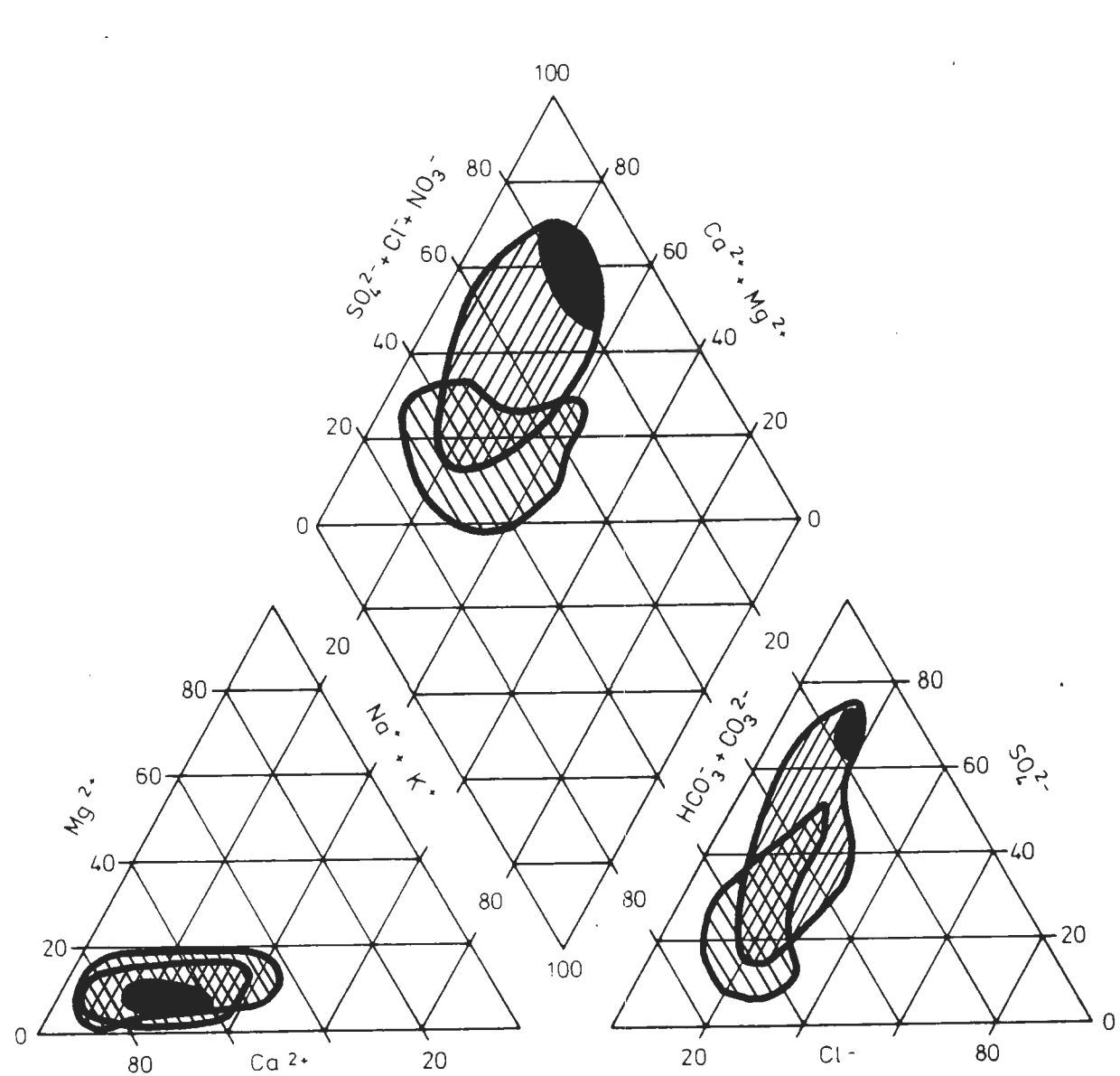
/17/ Müller-Lyda, I. & Busch, W. (1985): Dokumentation der Ergebnisse der radiologischen Messungen zur Beweissicherung an quartären Grundwasserproben aus dem Nahbereich der Schachtanlage Konrad. - Abschlußbericht zu LV-Nr. 2219.06 AP-Nr. 5, vorgelegt im Auftrag der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt.




/18/ Moser, H. & Rauert, W. (1980): Isotopenmethoden in der Hydrologie. - 400 S.; Berlin, Stuttgart (Bornträger).

/19/ Matthes, G. (1973): Die Beschaffenheit des Grundwassers. - 324 S.; Berlin, Stuttgart (Bornträger).

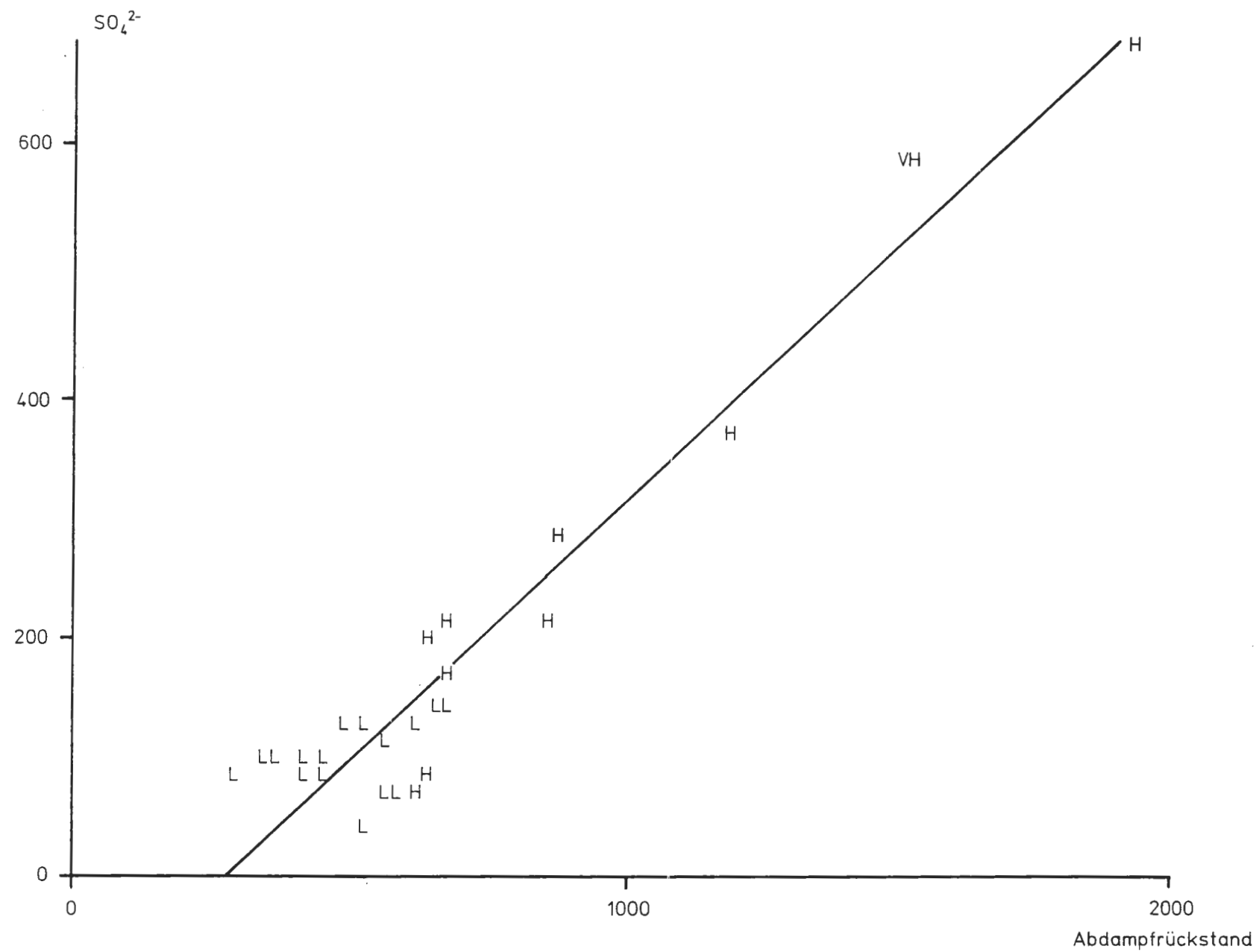


Projekt:			
Schachanlage Konrad Salzgitter			
Leistungskatalog: Teilaufgabe Nr. 2219.06 Arbeitspaket Nr. 6			
Bemerkung:		Objekt: Hydrochemie und Altersbestimmungen quartärer Grundwässer	
		Einzelheit: δ^{2H}/δ^{18O} -Relation und „Niederschlagsgerade“	
	Datum	Name	Maßstab
bearb.	3/86	IIR	
gez.	3/86		Abb. 1
Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH München Institut für Tief Lagerung			



-  wenig kontaminierte Grundwässer
-  stärker kontaminierte Grundwässer
-  GW-Meßstelle IX A

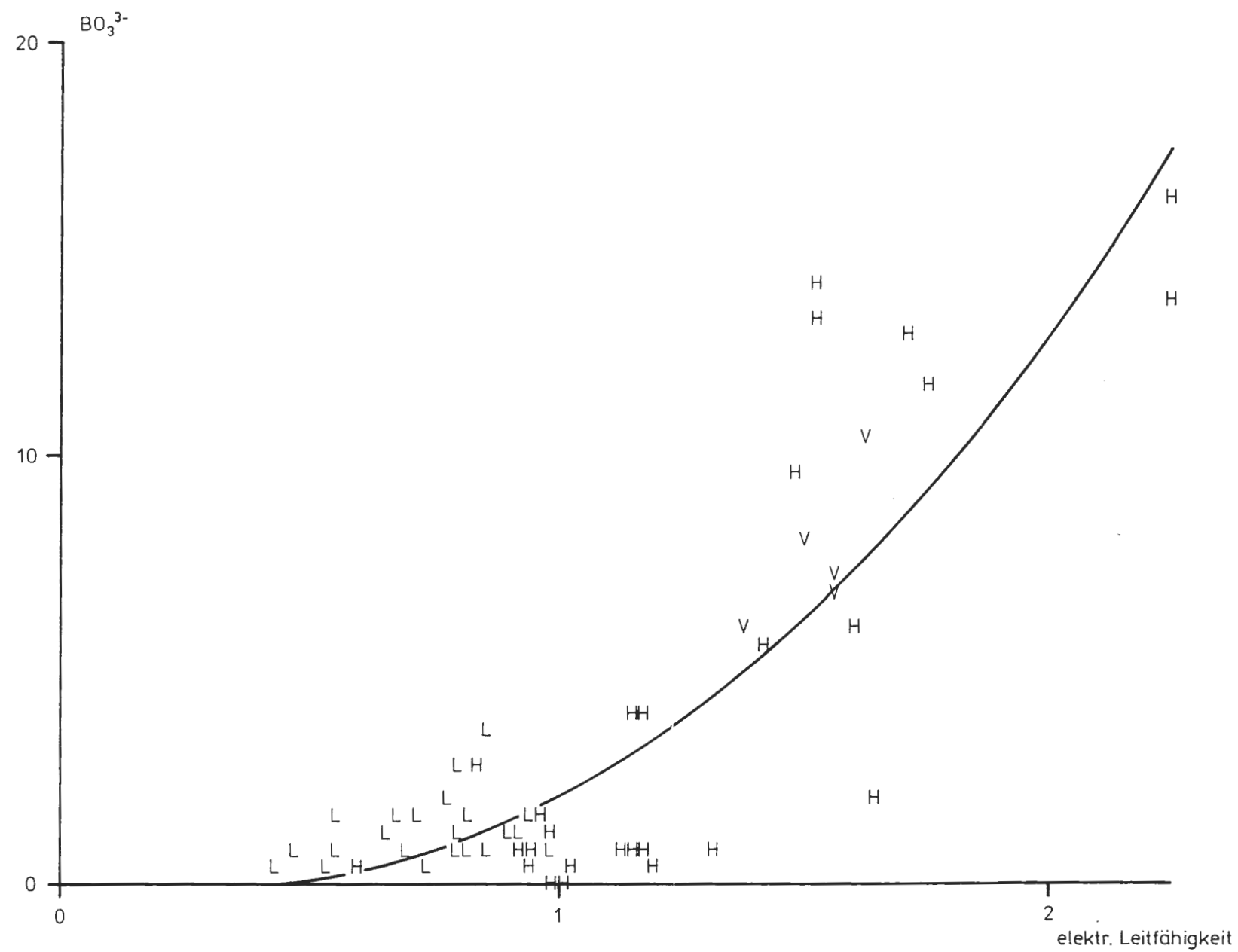
Projekt				
Schachanlage Konrad Salzgitter				
Leistungskatalog		Teilaufgabe Nr 2219.06 Arbeitspaket Nr 6		
Bemerkung		Objekt Analysen quartären Grundwassers		
		Einheit Ionen-Konzentrationsverhältnisse im PIPER-Diagramm		
	Datum	Name	Maßstab	Abb.
bearb	3/86			2
gez	3/86			
Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH München Institut für Tiefenerdung				



Legende:

- L : gering kontaminierte Grundwässer
- H : stark kontaminierte Grundwässer
- V : sehr stark kontaminierte Grundwässer

Projekt				
Schachanlage Konrad Salzgitter				
Leistungskatalog		Teilaufgabe Nr. 2219.06 Arbeitspaket Nr. 6		
Bemerkung		Titel Analysen quartären Grundwassers Einzelheit: Abhängigkeit der Sulfat-Konzentration von der Mineralisierung		
	Datum	Name	Maßstab	Abb.
bearb	5/86			3
gez	5/86			
Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH München Institut für Tretlagerung				



Legende:

- L : gering kontaminierte Grundwässer
- H : stark kontaminierte Grundwässer
- V : sehr stark kontaminierte Grundwässer

Projekt				
Schachtanlage Konrad Salzgitter				
Leistungskatalog		Terminausgabe Nr. 2219.06 Arbeitspaket Nr. 6		
Bemerkung		Objekt Analysen quartären Grundwassers Einzelheit: Abhängigkeit der Borat-Konzentrationen von der Mineralisierung		
	Datum	Name	Maßstab	Abb.
bearb.	5/86			4
gez.	5/86			
Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH München Institut für Tiefenergiephysik				

Tab. 1: Lage und Ausbau der Grundwasser-Meßstellen

GW-Meßstelle	Lage (Rechts-/Hochwert)	Geländehöhe (m ü.NN)	Ausbau ϕ (mm)	Lage der Filterstrecke (m unter Ansatzpunkt)
I A	³⁵ 98840/ ⁵⁷ 79285	102,64	150	25,10 - 28,10
III	³⁵ 99030/ ⁵⁷ 80675	91,46	150	14,20 - 40,20
V	³⁵ 96240/ ⁵⁷ 80885	90,17	150	19,19 - 27,19
VI	³⁵ 97570/ ⁵⁷ 81720	90,17	150	10,87 - 31,87
VII A	³⁵ 96165/ ⁵⁷ 81975	89,77	150	17,80 - 18,80 / 20,80 - 21,80
VIII	³⁵ 96690/ ⁵⁷ 82405	89,60	150	21,84 - 25,84 / 27,84 - 45,84
IX A	³⁵ 96735/ ⁵⁷ 82720	89,89	150	8,87 - 25,87
X	³⁶ 00510/ ⁵⁷ 81480	92,31	150	31,10 - 46,10
XIII	³⁵ 97105/ ⁵⁷ 83660	89,79	150	29,82 - 38,82
XIV	³⁵ 97102/ ⁵⁷ 83660	89,79	150	5,84 - 7,84
XV	³⁵ 98015/ ⁵⁷ 84825	86,76	150	22,32 - 37,32
XVI	³⁵ 98011/ ⁵⁷ 84825	86,69	150	7,41 - 8,41
XVII	³⁵ 97720/ ⁵⁷ 87195	82,60	150	16,85 - 30,85
XVIII	³⁵ 95090/ ⁵⁷ 82225	91,15	150	19,60 - 21,60
XIX	³⁵ 97960/ ⁵⁷ 89375	79,84	150	11,10 - 18,10

Tab. 1: Lage und Ausbau der Grundwasser-Meßstellen (Fortsetzung)

GW-Meßstelle	Lage Rechts-/Hochwert	Geländehöhe (m ü. NN)	Ausbau ϕ (mm)	Lage der Filterstrecke (m unter Ansatzpunkt)
173	³⁵ 97210/ ⁵⁷ 78220	99,34	50	9,50 - 10,50
642	³⁵ 97090/ ⁵⁷ 78945	99,98		
663	³⁵ 98620/ ⁵⁷ 79780	94,97		
1111	³⁵ 94740/ ⁵⁷ 82540	93,45	50	27,00 - 28,00
1165	³⁵ 97150/ ⁵⁷ 84100	85,69		
1166	³⁵ 97150/ ⁵⁷ 84100	85,69		
1168	³⁵ 97190/ ⁵⁷ 85680	83,75		
1272	³⁵ 96240/ ⁵⁷ 84435	95,76	50	9,00 - 20,00
1365	³⁵ 97570/ ⁵⁷ 86075	81,81		
2210	³⁵ 97100/ ⁵⁷ 82120	90,43		
2321	³⁵ 96700/ ⁵⁷ 80910	90,12		
2384	³⁵ 96575/ ⁵⁷ 82890	90,08		
2385	³⁵ 96290/ ⁵⁷ 82560	90,14		
2386	³⁵ 96180/82260	90,05		
2393	³⁵ 96355/ ⁵⁷ 80655	90,32		
2407	³⁵ 97500/ ⁵⁷ 82440	90,35		

Tab. 2: Grundwasserchemische Typisierung oberflächennaher Grundwässer

I A	25.02.1985	(1)	Ca-Na-SO ₄ -HCO ₃
	26.02.1985		Ca-Na-Cl-SO ₄ -HCO ₃
	12.05.1985		Ca-Na-SO ₄ -HCO ₃
	14.11.1985		Ca-SO ₄ -HCO ₃
III	14.05.1984		Ca-HCO ₃
	15.05.1984	(1)	Ca-SO ₄ -HCO ₃
	15.05.1984	(2)	Ca-SO ₄ -HCO ₃ (I)
	21.05.1984		Ca-Cl-HCO ₃
	22.05.1984		Ca-SO ₄ -HCO ₃
	03.11.1984		Ca-Na-SO ₄ -HCO ₃
	16.05.1985		Ca-Na-HCO ₃
	14.06.1985	(27 m)	Ca-HCO ₃
	14.06.1985	(41 m)	Ca-HCO ₃
	14.11.1985		Ca-HCO ₃
V	16.06.1984	(1)	Ca-Na-SO ₄ -HCO ₃
	16.06.1984	(2)	Ca-Na-SO ₄ -HCO ₃
	16.06.1984	(3)	Ca-Na-SO ₄ -HCO ₃ (I)
	01.12.1984		Ca-Na-SO ₄ -HCO ₃
	05.05.1985		Ca-Na-SO ₄ -HCO ₃
	13.11.1985		Ca-SO ₄ -HCO ₃
VI	18.06.1984		Ca-Na-SO ₄ -HCO ₃
	19.06.1984	(1)	Ca-Na-SO ₄ -HCO ₃ (I)
	19.06.1984	(2)	Ca-Na-SO ₄ -HCO ₃ (I)
	01.12.1984		Ca-Na-SO ₄ -HCO ₃
	05.05.1985		Ca-SO ₄ -HCO ₃

Forts. Tab. 2: Grundwasserchemische Typisierung oberflächennaher Grundwässer

VII A	05.07.1984		Ca-Na-SO ₄ -HCO ₃	
	06.07.1984	(1)	Ca-Na-SO ₄ -HCO ₃	(I)
	06.07.1984	(2)	Ca-Na-SO ₄ -HCO ₃	(I)
	30.11.1984		Ca-Na-SO ₄ -HCO ₃	
	05.05.1985		Ca-Na-SO ₄ -HCO ₃	
VIII	25.06.1984		Ca-Na-Cl-SO ₄ -HCO ₃	
	26.06.1984	(1)	Ca-Na-Cl-SO ₄ -HCO ₃	(I)
	26.06.1984	(2)	Ca-Na-SO ₄ -HCO ₃	(I)
	03.05.1985		Ca-Na-SO ₄ -HCO ₃	
	03.12.1985		Ca-Cl-HCO ₃	
IX A	02.07.1984		Ca-Na-SO ₄	(I)
	03.07.1984	(1)	Ca-Na-SO ₄	(I)
	03.07.1984	(2)	Ca-Na-SO ₄	(I)
	30.11.1984		Ca-Na-SO ₄	
	04.05.1985		Ca-Na-SO ₄	
	12.11.1985		Ca-SO ₄	
X	11.03.1985		Ca-Na-SO ₄ -HCO ₃	
	12.03.1985		Ca-Na-SO ₄ -HCO ₃	
	12.05.1985		Ca-Na-HCO ₃	
	15.11.1985		Ca-SO ₄ -HCO ₃	

Forts. Tab. 2: Grundwasserchemische Typisierung oberflächennaher Grundwässer

XIII	09.07.1984		Ca-Na-SO ₄ -HCO ₃	(I)
	10.07.1984	(1)	Ca-Na-SO ₄ -HCO ₃	(I)
	10.07.1984	(2)	Ca-Na-SO ₄ -HCO ₃	(I)
	25.11.1984		Ca-Na-SO ₄ -HCO ₃	
	27.04.1985		Ca-SO ₄ -HCO ₃	
	12.11.1985		Ca-SO ₄ -HCO ₃	
XIV	25.11.1984		Ca-Na-SO ₄	
	27.04.1985		Ca-SO ₄ -HCO ₃	
	11.11.1985		Ca-Na-SO ₄ -HCO ₃	
XV	05.06.1984	(1)	Ca-SO ₄ -HCO ₃	
	05.06.1984	(2)	Ca-SO ₄ -HCO ₃	
	06.06.1984		Ca-SO ₄ -HCO ₃	
	03.11.1984		Ca-Na-SO ₄ -HCO ₃	
	16.05.1985		Ca-Na-SO ₄ -HCO ₃	
XVI	02.11.1984		Ca-Na-Cl-SO ₄ -HCO ₃	
	16.05.1985		Ca-Na-Cl-SO ₄ -HCO ₃	
XVII	12.06.1984		Ca-Cl-SO ₄ -HCO ₃	
	13.06.1984	(1)	Ca-Cl-SO ₄ -HCO ₃	
	13.06.1984	(2)	Ca-Cl-SO ₄ -HCO ₃	
	02.11.1984		Ca-Na-Cl-SO ₄ -HCO ₃	
	11.05.1985		Ca-Na-Cl-SO ₄ -HCO ₃	
XVIII	05.03.1985		Ca-Na-SO ₄ -HCO ₃	
	06.03.1985		Ca-Na-SO ₄ -HCO ₃	
	18.05.1985		Ca-Na-SO ₄ -HCO ₃	
	26.11.1985		Ca-Na-Cl-SO ₄ -HCO ₃	

Forts. Tab. 2: Grundwasserchemische Typisierung oberflächennaher Grundwässer

XIX	19.02.1985	Ca-Na-Cl-SO ₄ -HCO ₃
	20.02.1985	Ca-Na-Cl-SO ₄ -HCO ₃
	18.05.1985	Ca-Cl-SO ₄ -HCO ₃
	13.11.1985	Ca-Cl-SO ₄ -HCO ₃
173	09.11.1984	Ca-Na-Cl-SO ₄
	17.05.1985	Ca-SO ₄ -HCO ₃
	27.11.1985	Ca-SO ₄ -HCO ₃
1111	02.12.1984	Ca-Na-SO ₄ -HCO ₃
	11.05.1985	Ca-Na-SO ₄ -HCO ₃
1272	19.05.1985	Ca-Cl-HCO ₃

(I) : >1 mg/l I⁻

Tab. 3: Anzahl, Spannweite und Streuung der Meßwerte

	N	Mittelwert	Minimum	Maximum	Spannweite
Na	80	69.666 ± 55.28 %	14.260	144.040	129.780
K	80	8.643 ± 74.01 %	0.270	25.300	25.030
Li	75	0.272 ± 113.06 %	0.010	0.790	0.780
Ca	80	166.986 ± 40.50 %	79.130	406.050	326.920
Mg	80	15.170 ± 47.77 %	2.180	37.010	34.830
Cl	80	75.140 ± 36.08 %	26.510	135.960	109.450
SO ₄	80	268.084 ± 81.20 %	36.250	1043.360	1007.110
HCO ₃	80	322.715 ± 27.99 %	0.000	549.460	549.460
Dichte	69	1.000 ± 1.01 %	0.993	1.082	0.089
Leitfähigkeit	70	1.092 ± 33.95 %	0.432	2.240	1.808
Sr	67	1.278 ± 85.09 %	0.280	7.850	7.570
Fe	67	1.798 ± 79.63 %	0.010	6.880	6.870
Al	47	0.225 ± 101.01 %	0.010	1.090	1.080
Si	67	7.867 ± 46.61 %	1.390	19.570	18.180
Zn	50	0.086 ± 94.44 %	0.002	0.430	0.428
Ba	67	0.206 ± 241.55 %	0.020	4.190	4.170
Mn	47	0.801 ± 90.40 %	0.015	2.750	2.735
PO ₄	42	7.633 ± 112.20 %	0.800	39.030	38.230
BO ₃	64	3.442 ± 129.98 %	0.050	16.470	16.420
I	43	0.572 ± 94.84 %	0.010	1.550	1.540
Br	20	0.664 ± 83.68 %	0.010	2.000	1.990
NO ₃	21	24.224 ± 117.27 %	0.010	92.120	92.110
NO ₂	13	1.091 ± 155.09 %	0.010	5.660	5.650
NH ₄	13	0.067 ± 122.52 %	0.010	0.270	0.260
Abdampfdruckstand	11	953.636 ± 50.54 %	540.000	1920.000	1380.000
Temperatur	70	12.326 ± 56.35 %	6.300	39.000	32.700
pH	69	6.944 ± 3.93 %	6.390	8.220	1.830
Eh	43	163.916 ± 85.28 %	-73.000	424.400	497.400
CO ₂	72	45.575 ± 64.81 %	0.000	139.080	139.080

Tab.4: Meßergebnisse von Isotopenanalysen an oberflächennahen Grundwässern in der Umgebung der Grube Konrad (die angegebenen Fehler entsprechen der zweifachen Standardabweichung; die zweifachen Standardabweichungen der $\delta^{13}\text{C}$ -, $\delta^2\text{H}$ - bzw. $\delta^{18}\text{O}$ -Meßwerte betragen $\pm 0,4$ $\delta^{13}\text{C}$ -‰, ± 1 $\delta^2\text{H}$ -‰ bzw. $\pm 0,15$ $\delta^{18}\text{O}$ -‰)

Labor-Nr.	Probenbezeichnung	Entnahmedatum und -uhrzeit	^3H [TU]	^{14}C [%mod.]	$\delta^{13}\text{C}$ [‰]	$\delta^2\text{H}$ [‰]	$\delta^{18}\text{O}$ [‰]
20062	I A	25.02.85	$0,9 \pm 0,7$	-	-	-60,7	- 8,78
20063	I A	26.02.85	$1,3 \pm 0,7$	-	-	-59,5	- 8,73
20426	I A	12.05.85	< 1,3	-	-	-59,5	- 8,76
21734	I A	14.11.85	< 1,3	$62,3 \pm 3,1$	-13,6	-58,8	- 8,40
17784(a)	III	14.05.84 (16.10)	$21,8 \pm 1,6$	-	-	-58,7	- 8,68
17785(a)	III	15.05.84 (6.00)	$28,6 \pm 2,3$	-	-	-58,9	- 8,52
17786(a)	III	15.05.84 (16.00)	$28,4 \pm 2,2$	-	-	-58,3	- 8,63
17958	III	21.05.84 (13.15)	$21,9 \pm 3,5$	-	-	-59,4	- 8,48
17959	III	22.05.84 (12.45)	$26,1 \pm 1,9$	-	-	-59,9	- 8,64
19738	III	03.11.84	$7,7 \pm 4,2$	-	-	-57,7	- 8,76
19256	III	03.11.84 (14.45)	$7,0 \pm 1,8$	-	-	-	-
20428(a)	III	16.05.85 (13.25)	$6,8 \pm 0,8$	$73,2 \pm 3,5$	-13,4	-58,8	- 8,44
20656	III 27 m	14.06.85 (11.50)	$6,6 \pm 0,7$	-	-	-	-
20657	III 41 m	14.06.85 (12.45)	$6,7 \pm 0,7$	-	-	-	-
21735	III	14.11.85	$7,4 \pm 3,2$	-	-13,4	-57,1	- 8,32
17960	V	15.06.84 (13.00)	$75,7 \pm 6,5$	-	-	-	-
17961	V	16.06.84 (7.00)	$73,1 \pm 7,6$	-	-	-60,4	- 8,75
17962	V	16.06.84 (12.15)	$73,2 \pm 5,5$	-	-	-59,7	- 8,67
19735	V	01.12.84 (6.20)	$72,8 \pm 4,7$	-	-	-59,8	- 8,80
19275	V	01.12.84	$73,5 \pm 5,7$	-	-	-	-
20435(a)	V	05.05.85 (18.30)	$69,6 \pm 5,0$	$86,5 \pm 4,1$	-14,9	-	-
20435(b)	V	05.05.85 (19.30)	$72,7 \pm 5,2$	-	-	-58,4	- 8,53
21736	V	13.11.85 (13.15)	$69,6 \pm 5,7$	-	-15,6	-60,4	- 8,49

Tab. 4: Meßergebnisse von Isotopenanalysen an oberflächennahen Grundwässern
Fortsetzung 1

Labor-Nr.	Probenbezeichnung	Entnahmedatum und -uhrzeit	^3H [TU]	^{14}C [%mod.]	$\delta^{13}\text{C}$ [‰]	$\delta^2\text{H}$ [‰]	$\delta^{18}\text{O}$ [‰]
17963	VI	18.06.84 (15.15)	41,2 \pm 3,7	-	-	-59,0	- 8,60
17964	VI	19.06.84 (7.30)	43,1 \pm 4,4	-	-	-60,0	- 8,77
18483	VI	19.06.84 (14.45)	42,0 \pm 2,8	-	-	-60,8	- 8,80
19274	VI	01.12.84 (12.00)	34,4 \pm 3,3	-	-	-	-
19734	VI	01.12.84 (12.30)	33,4 \pm 5,1	-	-	-60,6	- 8,67
20433	VI	05.05.85 (11.45)	33,6 \pm 3,2	-	-	-	-
20433(a)	VI	05.05.85 (13.00)	33,2 \pm 2,9	-	-	-58,6	- 8,60
18484	VII A	05.07.84 (19.10)	80,2 \pm 5,4	-	-	-61,5	- 8,80
18485	VII A	06.07.84 (7.45)	80,4 \pm 5,3	-	-	-62,1	- 8,80
18291	VII A	06.07.84 (18.50)	80,8 \pm 5,4	-	-	-61,8	- 8,75
18486	VII A	06.07.84 (18.55)	82,0 \pm 5,4	-	-	-60,7	- 8,80
19731	VII A	30.11.84 (15.40)	72,9 \pm 6,4	-	-	-61,8	- 8,81
19272	VII A	30.11.84 (18.30)	75,4 \pm 5,9	-	-	-	-
20434(a)	VII A	05.05.85 (15.30)	72,3 \pm 5,1	81,3 \pm 3,9	-16,3	-	-
20434(b)	VII A	05.05.85 (16.25)	73,9 \pm 5,5	-	-	-60,7	- 8,81
17965	VIII	25.06.84 (14.15)	45,9 \pm 5,2	-	-	-58,0	- 8,00
17966	VIII	26.06.84 (7.00)	33,4 \pm 3,9	-	-	-57,2	- 8,02
18487	VIII	26.06.84 (13.45)	31,7 \pm 2,3	-	-	-56,4	- 7,90
19276	VIII	01.12.84 (19.00)	41,4 \pm 4,4	-	-	-	-
20431	VIII	03.05.85 (18.30)	58,3 \pm 4,1	-	-	-56,7	- 8,26
21737	VIII	03.12.85	27,8 \pm 3,0	78,5 \pm 3,5	-18,7	-57,4	- 7,99

Tab. 4 : Meßergebnisse von Isotopenanalysen an oberflächennahen Grundwässern
Fortsetzung 2

Labor-Nr.	Probenbezeichnung	Entnahmedatum und -uhrzeit	^3H [TU]	^{14}C [%mod.]	$\delta^{13}\text{C}$ [‰]	$\delta^2\text{H}$ [‰]	$\delta^{18}\text{O}$ [‰]
18488	IX A	02.07.84 (14.15)	36,9±2,6	-	-	-53,8	- 7,50
18489	IX A	03.07.84 (7.05)	37,1±2,6	-	-	-54,0	- 7,56
18490	IX A	03.07.84 (13.45)	38,4±2,6	-	-	-53,5	- 7,53
19273	IX A	30.11.84 (16.00)	36,3±3,9	-	-	-	-
19733	IX A	30.11.84 (19.30)	35,1±3,8	-	-	-53,9	- 7,75
20432	IX A	04.05.85 (10.40)	34,5±2,5	-	-	-	-
20432(a)	IX A	04.05.85 (12.30)	35,0±2,4	-	-	-55,5	- 7,63
21738	IX A	12.11.85 (16.40)	34,5±3,9	-	-	-54,0	- 7,33
20066	X	11.03.85	2,0±0,7	-	-	-60,8	- 8,81
20067	X	12.03.85	3,3±0,7	-	-	-61,1	- 8,73
20427	X	12.05.85 (17.05)	2,1±0,7	-	-	-59,5	- 8,85
21739	X	15.11.85 (12.55)	3,8±0,7	76,9±3,6	-13,6	-62,3	- 8,87
18491	XIII	09.07.84 (14.15)	43,1±2,9	-	-	-56,5	- 7,95
18492	XIII	10.07.84 (7.15)	41,6±3,1	-	-	-56,6	- 7,92
18493	XIII	10.07.84 (13.05)	42,4±2,9	-	-	-57,4	- 7,82
19732	XIII	25.11.84 (14.30)	38,6±4,7	-	-	-57,0	- 8,25
19270	XIII	25.11.84 (14.00)	43,4±3,7	-	-	-	-
20250	XIII	27.04.85 (15.15)	41,1±2,9	-	-	-57,8	- 8,25
20251	XIII	27.04.85 (14.30)	39,2±2,7	-	-	-57,3	- 8,29
21740	XIII	12.11.85 (13.00)	39,2±5,8	51,5±2,6	-13,5	-57,8	- 7,91
19730	XIV	25.11.84 (19.00)	39,1±6,2	-	-	-53,5	- 7,50
19271	XIV	25.11.84 (18.30)	38,5±3,4	-	-	-	-
20249	XIV	27.04.85 (16.15)	42,3±2,9	-	-	-57,0	- 8,18
20248	XIV	27.04.85 (17.10)	41,2±2,8	-	-	-56,6	- 8,07
21741	XIV	11.11.85 (14.25)	36,5±4,0	75,4±3,4	-16,1	-57,3	- 7,81

Tab.4 : Meßergebnisse von Isotopenanalysen an oberflächennahen Grundwässern
Fortsetzung 3

Labor-Nr.	Probenbezeichnung	Entnahmedatum und -uhrzeit	^3H [TU]	^{14}C [%mod.]	$\delta^{13}\text{C}$ [‰]	$\delta^2\text{H}$ [‰]	$\delta^{18}\text{O}$ [‰]
17967	XV	05.06.84 (10.15)	$3,9 \pm 1,9$	-	-	-60,6	- 8,70
17968	XV	05.06.84 (16.30)	$4,7 \pm 2,9$	-	-	-60,4	- 8,68
17969	XV	06.06.84 (10.00)	$3,0 \pm 2,5$	-	-	-60,7	- 8,69
19739	XV	03.11.84 (11.45)	< 1,4	-	-	-58,5	- 8,66
19255	XV	03.11.84 (11.00)	$1,0 \pm 0,7$	-	-	-	-
20430	XV	16.05.85 (18.05)	< 1,4	$67,9 \pm 3,3$	-13,6	-58,5	- 8,67
19737	XVI	02.11.84 (15.35)	$50,5 \pm 5,8$	-	-	-59,1	- 8,23
19254	XVI	02.11.84 (20.30)	$51,3 \pm 4,0$	-	-	-	-
20429	XVI	16.05.85 (17.20)	$64,5 \pm 5,0$	-	-	-57,5	- 8,45
17970	XVII	12.06.84 (15.15)	$18,9 \pm 2,4$	-	-	-60,5	- 8,81
17971	XVII	13.06.84 (8.15)	$22,4 \pm 1,7$	-	-	-58,8	- 8,60
17972	XVII	13.06.84 (14.05)	$23,1 \pm 3,8$	-	-	-58,3	- 8,38
19253	XVII	02.11.84 (12.30)	$20,8 \pm 2,3$	-	-	-	-
19740	XVII	02.11.84 (15.35)	$18,7 \pm 3,6$	-	-	-59,3	- 8,27
20425(a)	XVII	11.05.85 (18.00)	$17,2 \pm 2,0$	$77,9 \pm 3,7$	-14,1	-	-
20425(b)	XVII	11.05.85 (19.10)	$17,4 \pm 2,0$	-	-	-58,1	- 8,40
20064	XVIII	05.03.85 (10.00)	$14,5 \pm 1,1$	-	-	-59,4	- 8,61
20065	XVIII	06.03.85 (08.45)	$16,4 \pm 1,3$	-	-	-59,7	- 8,54
20420	XVIII	18.05.85 (16.00)	$15,4 \pm 1,1$	-	-	-59,1	- 8,45
21742	XVIII	26.11.85	$15,9 \pm 1,2$	-	-	-59,8	- 8,44

Tab. 4 : Meßergebnisse von Isotopenanalysen an oberflächennahen Grundwässern
Fortsetzung 4

Labor-Nr.	Probenbezeichnung	Entnahmedatum und -uhrzeit	^3H [TU]	^{14}C [%mod.]	$\delta^{13}\text{C}$ [‰]	$\delta^2\text{H}$ [‰]	$\delta^{18}\text{O}$ [‰]
20060	XIX	19.02.85 (16.30)	15,7±1,2	-	-	-56,5	- 8,35
20061	XIX	20.02.85 (15.00)	18,0±1,3	-	-	-57,3	- 8,47
20419	XIX	18.05.85 (11.50)	18,6±1,3	-	-	-58,6	- 8,45
21743	XIX	13.11.85 (16.45)	17,5±1,3	73,7±3,4	-14,1	-59,5	- 8,35
19261	173	09.11.84 (12.30)	65,2±4,9	-	-	-	-
19736	173	09.11.84 (13.00)	62,7±4,5	-	-	-64,1	- 9,30
20418(a)	173	17.05.85 (18.35)	53,0±4,4	105,1±4,8	-16,0	-61,6	- 8,91
21746	173	27.11.85	72,4±7,2	101,0±4,5	-16,7	-61,8	- 9,12
19262	642	09.11.84 (16.15)	42,6±4,1	-	-	-	- 8,44
19257	663	03.11.84 (17.50)	21,5±3,3	-	-	-	-
20254	663	28.04.85 (16.15)	24,4±2,0	-	-	-59,4	- 8,53
19277	1111	02.12.84 (11.00)	17,3±2,1	-	-	-	-
19729	1111	02.12.84 (11.50)	12,1±4,1	-	-	-58,3	- 8,37
20417(a)	1111	11.05.85 (13.30)	24,2±1,8	71,9±3,5	-13,6	-	-
20417(b)	1111	11.05.85 (14.15)	26,1±1,9	-	-	-60,8	- 8,53
19259	1165	04.11.84 (12.00)	48,8±4,1	-	-	-	-
20423	1165	04.05.85 (15.20)	33,0±2,4	-	-	-	-
21748	1165	05.12.85 (15.45)	34,9±3,6	97,1±4,2	-15,3	-59,9	- 8,49
19258	1166	04.11.84 (10.45)	27,4±2,7	-	-	-	-
20424	1166	04.05.85 (16.00)	7,2±0,8	-	-	-	-
21749	1166	05.12.85 (13.10)	2,8±0,7	56,7±2,8	-12,8	-55,9	- 8,17

Tab. 2 : Meßergebnisse von Isotopenanalysen an oberflächennahen Grundwässern
Fortsetzung 5

Labor-Nr.	Probenbezeichnung	Entnahmedatum und -uhrzeit	^3H [TU]	^{14}C [%mod.]	$\delta^{13}\text{C}$ [‰]	$\delta^2\text{H}$ [‰]	$\delta^{18}\text{O}$ [‰]
20421	1167	19.05.85 (17.30)	44,5 \pm 3,2	-	-	-	-
19263	1168	10.11.84 (12.00)	9,1 \pm 2,4	-	-	-	-
19793	1272	20.12.84 (12.30)	15,4 \pm 1,3	-	-	-	-
19741	1272	20.12.84 (12.30)	15,6 \pm 3,7	-	-	-57,5	- 8,66
20415	1272	19.05.85 (14.40)	16,4 \pm 2,0	-	-	-59,9	- 8,66
19260	1365	04.11.84 (16.00)	54,5 \pm 4,2	-	-	-	-
19267	2210	24.11.84 (13.00)	5,6 \pm 1,7	-	-	-	-
20416	2210	10.05.85 (17.50)	7,5 \pm 0,7	71,7 \pm 3,5	-14,0	-58,5	- 8,37
19265	2321	06.12.84 (11.30)	53,4 \pm 4,2	-	-	-	-
19266	2384	24.11.84 (14.00)	55,3 \pm 4,3	-	-	-	-
20422	2384	10.05.85 (19.30)	54,6 \pm 3,7	-	-	-	-
19268	2385	24.11.84 (16.00)	36,9 \pm 3,2	-	-	-54,4	- 7,99
19264	2393	06.12.84 (10.30)	57,2 \pm 4,4	-	-	-	-
20253	2393	28.04.85 (13.30)	52,1 \pm 3,6	-	-	-58,1	- 8,45
19269	2407	24.11.85 (19.30)	64,2 \pm 5,2	-	-	-	-
20252	2407	28.04.85 (12.00)	48,9 \pm 3,4	-	-	-60,1	- 8,75

Tab. 4 : Meßergebnisse von Isotopenanalysen an oberflächennahen Grundwässern
Fortsetzung 5

Labor-Nr.	Probenbezeichnung	Entnahmedatum und -uhrzeit	^3H [TU]	^{14}C [%mod.]	$\delta^{13}\text{C}$ [‰]	$\delta^2\text{H}$ [‰]	$\delta^{18}\text{O}$ [‰]
20421	1167	19.05.85 (17.30)	44,5 \pm 3,2	-	-	-	-
19263	1168	10.11.84 (12.00)	9,1 \pm 2,4	-	-	-	-
19793	1272	20.12.84 (12.30)	15,4 \pm 1,3	-	-	-	-
19741	1272	20.12.84 (12.30)	15,6 \pm 3,7	-	-	-57,5	- 8,66
20415	1272	19.05.85 (14.40)	16,4 \pm 2,0	-	-	-59,9	- 8,66
19260	1365	04.11.84 (16.00)	54,5 \pm 4,2	-	-	-	-
19267	2210	24.11.84 (13.00)	5,6 \pm 1,7	-	-	-	-
20416	2210	10.05.85 (17.50)	7,5 \pm 0,7	71,7 \pm 3,5	-14,0	-58,5	- 8,37
19265	2321	06.12.84 (11.30)	53,4 \pm 4,2	-	-	-	-
19266	2384	24.11.84 (14.00)	55,3 \pm 4,3	-	-	-	-
20422	2384	10.05.85 (19.30)	54,6 \pm 3,7	-	-	-	-
19268	2385	24.11.84 (16.00)	36,9 \pm 3,2	-	-	-54,4	- 7,99
19264	2393	06.12.84 (10.30)	57,2 \pm 4,4	-	-	-	-
20253	2393	28.04.85 (13.30)	52,1 \pm 3,6	-	-	-58,1	- 8,45
19269	2407	24.11.85 (19.30)	64,2 \pm 5,2	-	-	-	-
20252	2407	28.04.85 (12.00)	48,9 \pm 3,4	-	-	-60,1	- 8,75

